

# AEROREPORT 02|15

Das Luftfahrtmagazin der MTU Aero Engines | [www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)



## Raum für wachsenden Luftverkehr

*Widebodys machen das Fliegen wirtschaftlich*

### **PARTNERS**

Gipfeltreffen auf Island  
*Forschungsflieger  
im Einsatz*

### **EXPERTISE**

Werkstoffentwicklung  
für die Luftfahrt  
*Prof. Körner im Gespräch*

### **TECHNOLOGY**

Wie genau ist genug?  
*Zerstörungsfreie  
Prüfverfahren*



**Großraumflugzeuge** — *Wirtschaftliches  
Fliegen mit modernen Widebodies: Airbus A330,  
Airbus A350 XWB, Airbus A380.*

*Liebe Leserinnen, liebe Leser,*

die Luftfahrtindustrie wird in den kommenden Jahren und Jahrzehnten weiter wachsen. Für das Jahr 2034 rechnen Experten weltweit mit mehr als sieben Milliarden Flugpassagieren – das entspricht einer Verdoppelung im Vergleich zum heutigen Passagieraufkommen. Nach aktuellem Stand der Technik und mit der derzeitigen Flottenstruktur müsste das auch die doppelte Menge an Kerosin bedeuten, doppelt so viel CO<sub>2</sub> und Stickoxid für die Atmosphäre – und vor allem ein deutlich gesteigertes Verkehrsaufkommen an den Drehkreuzen und Ballungszentren, die diese Flugpassagiere anfliegen. Hier sehe ich eine der wichtigsten Herausforderungen für die Luftfahrtindustrie: Wachstum in den Verkehrszahlen und in wirtschaftlicher Hinsicht zu ermöglichen und zugleich unsere Umwelt nicht mehr zu belasten als heute.

Im Schnitt liegt der Kraftstoffverbrauch eines Verkehrsflugzeugs nach Berechnungen des Bundesverbands der Deutschen Luftverkehrswirtschaft (BDL) bei knapp vier Litern pro hundert Passagierkilometer. Das ist wenig mehr als der eines Hochgeschwindigkeitszugs. Der Verbrauch moderner Großraumflugzeuge auf längeren Strecken liegt sogar noch darunter. Und die Technik macht weiter Fortschritte: Leichtere Werkstoffe, verbesserte Aerodynamik und Antriebe reduzieren Kraftstoffverbrauch und Emissionen. Zudem sind Airlines mehr denn je darauf bedacht, ihre Flotten bestmöglich auszulasten, indem sie auf ihren Routen die jeweils optimale Flugzeuggröße einsetzen. Auf Langstrecken bewähren sich Widebodys als besonders wirtschaftlich.

Großraumflugzeuge und ihre Antriebe sind Schwerpunktthema in dieser Ausgabe des **AEROREPORT**. Spannende Einblicke in ihre Entwicklung bietet unsere Titelgeschichte. Manche Großraum-Frachtflugzeuge sind so groß, dass man darin Fußball spielen könnte. Die Rockband Iron Maiden wird für alle Transporte auf ihrer Welttournee 2016 eine B747 nutzen – geflogen von Sänger Bruce Dickinson und geleast vom MTU-Kunden Air Atlanta Icelandic.

Im Interview mit Prof. Dr. Carolin Körner vom Lehrstuhl für Werkstoffkunde und Technologie an der Universität Erlangen-Nürnberg beschäftigen wir uns mit den Möglichkeiten, die die Werkstoffentwicklung bietet. Die Fertigung hochkomplexer Strukturen aus neuen Materialien wird unter anderem durch Additive Fertigung möglich, wie sie der MTU Aero Engines-Partner EOS GmbH betreibt und zusammen mit uns weiter entwickelt.

Viel Freude bei dieser Entdeckungsreise in die Luftfahrtwelt wünscht Ihnen



Ihr  
  
 Reiner Winkler  
 Vorsitzender des Vorstands



**COVER STORY**

## Raum für wachsenden Luftverkehr

Die Passagierzahlen steigen, die Langstreckenflüge nehmen zu. Umso wichtiger, dass das Fliegen wirtschaftlich bleibt. Widebodys sorgen für die nötige Effizienz.

---

Seite 8



**MARKET**

## Die Lastesel der Lüfte

Die IATA prognostiziert bis 2018 einen Luftfracht-Aufschwung von 4,1 Prozent jährlich. Wenn die Fracht schnell und sicher am Zielort ankommen muss, sind die Großraumflugzeuge das bevorzugte Transportmittel.

---

Seite 16



**PARTNERS**

## Gipfeltreffen der Forschungsfieger

Seltene Flugzeuge haben auf Island einen wissenschaftlichen Auftrag zu erfüllen. Mit modernster Technik an Bord sind sie für unterschiedliche Forschungsdisziplinen auf Mission.

---

Seite 24

# CONTENTS

**NEWS**

- 6 **MRJ fliegt** Erstmals seit über 50 Jahren neuer japanischer Passagierjet in der Luft
- 6 **7.000. Shopvisit am Standort Hannover** mit vollständiger Instandsetzung eines GE90
- 6 **Air Canada mit neuer Dreamliner-Flotte** Neue Boeing 787-9 ab November im Einsatz
- 7 **Clean Sky-Demonstrator startet** Aufschluss über Ökoeffizienz zukünftiger Flugzeuge
- 7 **Start der PW1900G-Flugerprobung** Triebwerkserstflug Anfang November
- 7 **GE38 hebt erstmals ab** Beginn eines 2000-Stunden-Flugprogramms

**COVER STORY**

- 8 **Raum für wachsenden Luftverkehr** Widebodys machen das Fliegen wirtschaftlich

**MARKET**

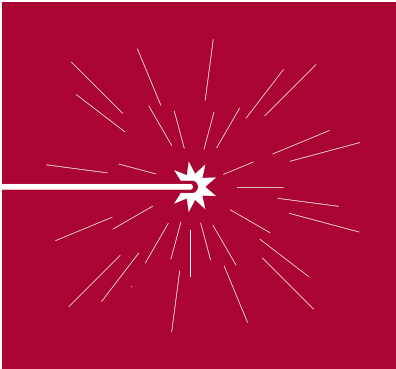
- 16 **Die Lastesel der Lüfte** Großraumflugzeuge im Frachteininsatz
- 22 **Gutes kann noch besser werden** Bewährtes Triebwerk GP7000 wird weiter optimiert

**PARTNERS**

- 24 **Gipfeltreffen der Forschungsfieger** Seltene Flugzeuge auf Island für die Wissenschaft im Einsatz
- 30 **Schicht für Schicht** Die EOS-Erfolgsgeschichte der Additiven Fertigung

**EXPERTISE**

- 34 **Der Raum der Entwicklungsmöglichkeiten ist vielleicht fünfzigdimensional** Werkstoffentwicklung für die Luftfahrt

**PARTNERS**

## Schicht für Schicht

Mit neuen Fertigungsverfahren in die Zukunft. Die Partnerschaft mit EOS GmbH ist seit sechs Jahren eine der erfolgreichen Kooperationen von MTU Aero Engines.

---

Seite 30

---

**EXPERTISE**

## Werkstoffentwicklung für die Luftfahrt

Das Potenzial bei der Entwicklung neuer Materialien ist noch lange nicht ausgeschöpft, sagt Prof. Dr. Carolin Körner vom Lehrstuhl für Werkstoffkunde und Technologie der Metalle an der Universität Erlangen-Nürnberg, im **AEROREPORT**-Interview.

---

Seite 34

---

**TECHNOLOGY**

## Mittendrin

Hohe Temperaturen, enorme Drücke, große Drehzahlen: In einem Triebwerk herrschen schwerste Bedingungen. Das Turbinenzwischengehäuse muss diese Belastungen aushalten können.

---

Seite 40

---

**TECHNOLOGY**

- 40 **Mittendrin** Turbinenzwischengehäuse für Großtriebwerke
- 42 **Wie genau ist genug?** Zerstörungsfreie Prüfverfahren in der Triebwerksindustrie

**FACTS**

- 48 **Blackbird wird 50** Legendäre Lockheed SR-71 hält weiter den Weltrekord
- 48 **Luftfahrt in Zahlen** Aktuelle Daten aus der IATA-Statistik
- 49 **Luxus in der Luft** Großraumflugzeuge mit Sonderausstattung
- 50 **Schneller arbeiten und leichter fliegen** Elektronischer Pilotenkoffer
- 50 **Messetermine 2016**
- 51 **Gestern & heute: Cockpit**
- 52 **Nonstop** Die fünf längsten Linienflüge der Welt
- 52 **Impressum und Bildnachweis**



[www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)

Alle Beiträge aus der Print-Ausgabe finden Sie ebenfalls online unter: [www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de) – auch im passenden Format für Ihr Smartphone oder Tablet. Informative Videos, Fotogalerien, zoombare Bilder und andere interaktive Specials warten dort auf Sie.

## MRJ fliegt



Mit dem Erstflug des **Mitsubishi Regional Jet (MRJ)** im November ist nun erstmals seit einem halben Jahrhundert ein neuer japanischer Passagierjet in der Luft. Darauf hat Japans Luftfahrt-

industrie lange gewartet. Zuletzt hatte sie am 30. August 1962 das zweimotorige Propellerflugzeug YS-11 in Dienst gestellt, das sie in Eigenregie als Linienmaschine entwickelt und gefertigt hatte. Mit dem neuen MRJ wollen die Japaner nun ab 2017 auf dem Markt für mittelgroße Regionaljets mitmischen. Zwei Varianten entwarf der Flugzeughersteller Mitsubishi Aircraft Corporation: den MRJ90 mit Platz für gut 90 Gäste, sowie den etwas kleineren MRJ70 für etwa 70 Passagiere. Angetrieben wird der MRJ vom PW1200G aus der PurePower®-Triebwerksfamilie von Pratt & Whitney. Die MTU Aero Engines, die am MRJ-Triebwerk einen Programmanteil von 15 Prozent hat, entwickelt und fertigt die komplette schnelllaufende Niederdruckturbine, die vorderen vier Stufen des Hochdruckverdichters sowie drei Bürstendichtungen.

## 7.000. Shopvisit am Standort Hannover

Mit dem 7.000. instandgesetzten Flugzeugtriebwerk hat die **MTU Maintenance Hannover** in ihrer über 35-jährigen Unternehmensgeschichte einen weiteren Meilenstein erreicht. Bei dem Jubiläums-Triebwerk handelt es sich mit einem Fan-Durchmesser von mehr als drei Metern, einem Gewicht von acht Tonnen und einer maximalen Schubkraft von 115.000 Pfund um das weltgrößte Triebwerk GE90, das die Großraumflugzeuge der Boeing 777-Familie in die Luft bringt. In Auftrag gegeben



wurde die Instandsetzung von der Frachtfluggesellschaft AeroLogic, mit der die MTU Maintenance schon seit 2012 erfolgreich zusammenarbeitet. „Bei Triebwerken dieser Größenordnung bedürfen die Instandhaltungsmaßnahmen besonderer Ausbildung und Qualifikation“, erklärt Ulf Weber, Managing Director bei AeroLogic. Als einer der „Top Arbeitgeber Deutschlands“ feierte die MTU Maintenance Hannover neben dem 7.000. Shopvisit auch das 25-jährige Bestehen der Berufsausbildung.

## Air Canada mit neuer Dreamliner-Flotte

Insgesamt 37 Dreamliner lösen bei **Air Canada** bis Jahresende 2019 ältere Modelle der Flotte ab. Zudem schaffen sie Kapazitäten für den Ausbau der Interkontinentalverbindungen. Während die größte kanadische Airline die 787-8 bereits seit über einem Jahr einsetzt, hat sie nun im August die erste Boeing 787-9 der verlängerten Dreamliner-Version in Empfang genommen. Die ersten beiden Destinationen der um etwa sechs Meter und auf 298 Sitzplätze gestreckten „-9“ stehen schon fest: Delhi und Dubai. Bis zum Start der Routen Anfang November setzte Air Canada die neuen und nicht zuletzt dank zweier GENx-Triebwerke hocheffizienten Jets zwischen Toronto und Vancouver ein. Im September



und Oktober waren die „-9“-Dreamliner auch zwischen Toronto und München sowie Mailand unterwegs.

## Clean Sky-Demonstrator startet



Alle Voraussetzungen sind erfüllt, alle Vorbereitungen getroffen. Mitte Oktober hieß es bei der MTU Aero Engines in München „Target to Fire“ für den **Clean Sky-Demonstrator** – die Testläufe konnten beginnen. Damit geht das 2008 gestartete Projekt im Rahmen des europäischen Technologieprogramms Clean Sky in die letzte Phase. Ziel ist es, mit dem auf dem C-Series-Triebwerk PurePower® PW1500G basierenden Demonstrator neue Triebwerkstechnolo-

gien zu entwickeln, die Flugzeuge der nächsten Generation noch ökoeffizienter machen. Der Demonstrator „SAGE 4“ – Sustainable And Green Engines – ist einer von fünf Triebwerksdemonstratoren im SAGE-Konsortium. Nachgewiesen werden soll damit die Reife neuer Technologien für die MTU-Paradekomponenten Hochdruckverdichter und Niederdruckturbine, beispielsweise leichtere und temperaturbeständigere Werkstoffe oder neue Designlösungen bei Schaufeln und Gehäuse, die in einer kommenden Generation von Geared Turbofans™ zum Einsatz kommen könnten.

## Start der PW1900G-Flugerprobung

Die Flugerprobung des Antriebs für die **E190-E2** von Embraer hat begonnen: Anfang November hob das Getriebefan-Triebwerk, das auf dem PW1500G für die Bombardier C-Series basiert, an einer Boeing 747SP im Pratt & Whitney Mirabel Flight Test Center bei Quebec in Kanada zum ersten Mal ab. Damit fliegen mittlerweile vier der sechs geplanten PW1000G-Varianten, an denen die MTU

Aero Engines mit 15 bis 18 Prozent beteiligt ist. Die Triebwerksfamilie hat bislang insgesamt 23.000 Teststunden absolviert. Die PW1900G-Bodentests liefen seit Juli bei Pratt & Whitney in Connecticut, beim Flugzeughersteller in Brasilien wurde die Triebwerkssoftware im „Iron Bird“ erprobt. Die Indienstellung des Flugzeugs ist für 2018 geplant.

## GE38 hebt erstmals ab



Erstflug des neuen schweren Transporthubschraubers **CH-53K** „King Stallion“: Am 27. Oktober ist der Hubschrauber auf dem Testgelände des Herstellers Sikorsky in West Palm Beach, Florida, zu seinem Erstflug gestartet. Die Premiere ist ein wichtiger Meilenstein für die Qualifizierung des Gesamtsystems und auch ein entscheidendes Ereignis für das GE38-Triebwerk, das GE Aviation gemeinsam mit der MTU Aero Engines entwickelt. Die MTU ist dabei für die Nutzturbine des Triebwerks mit einem Programmanteil von 18 Prozent verantwortlich. Noch nie zuvor war es gelungen, die komplette Verantwortung für eine Baugruppe an einem US-amerikanischen militärischen Triebwerksprogramm zu erhalten.

Der halbstündige Flug markierte den erfolgreichen Auftakt des auf insgesamt 2.000 Stunden veranschlagten Flugtestprogramms. Am vorangegangenen Triebwerk-Testprogramm war die MTU umfangreich beteiligt. „Etwa ein Drittel der Tests wurden – gültig und erfolgreich – bei der MTU gefahren“, erklärte der Leiter der Entwicklung GE38, Dr. Robert Bader. Dazu gehörten Turbinenstresstests am rotierenden System mit eigener MTU-Technologie sowie Spezialtests wie Wasser-, Hagel- und Vogelschlagtests. „GE hat uns eine exzellente Datengüte bescheinigt“, berichtete Bader. Die ersten beiden Module für das System Demonstration and Test Articles (SDTA)-Programm lieferte die MTU bereits im vergangenen Jahr aus. „Für den weiteren Weg und die Auslieferungen unserer Nutzturbinen-Module sind wir bestens vorbereitet und natürlich voll motiviert“, ergänzte GE38-Programtleiterin Claudia Gaab.

Das U.S. Marine Corps hat seinen neuen Schwerlast-Transporthubschrauber CH-53K „King Stallion“ getauft. Ab 2019 soll er die Nachfolge des CH-53E „Super Stallion“ antreten. Im Vergleich zu seinem Vorgänger bietet er eine beinahe dreimal so hohe Nutzlastkapazität von 13,5 Tonnen (27.000 Pfund).





An aerial photograph of an airport tarmac. In the upper left, a Southwest Airlines airplane is parked at a gate. In the center, a white jet is taxiing on a runway marked with yellow lines and red signs that read '24L'. The tarmac is paved with grey concrete and has green safety zones. The overall scene is captured from a high angle, showing the layout of the airfield.

# Raum für wachsenden Luftverkehr

*Vom ersten Jumbojet bis zum modernen Großraumflieger:  
Widebodys machen das Fliegen wirtschaftlich.*

**Autor:** Achim Figgen

### Die Geburt des Jumbos

„Wenn Sie es bauen, kaufe ich es.“ – „Wenn Sie es kaufen, bauen wir es.“ Diese kurze Konversation zwischen dem Pan-Am-Gründer Juan Trippe und dem Boeing-Boss Bill Allen stand Mitte der 1960er Jahre am Beginn der Großraumflugzeug-Ära. Zu dieser Zeit wurden Langstrecken mit Boeing 707 und Douglas DC-8 bedient, vierstrahligen Jets mit einem Rumpfdurchmesser, der die Installation von sechs Sitzen pro Reihe – jeweils drei rechts und links des Gangs – gestattete.

Angeichts des rasant wachsenden Passagieraufkommens war es nur eine Frage der Zeit, bis diese Muster zu klein sein würden. Douglas reagierte auf die Wünsche der Airlines nach einem größeren Flugzeug mit der Streckung der DC-8 zur „Super Sixties“-Baureihe. Boeing war dieser Weg aufgrund der zu geringen Bodenfreiheit der 707 versperrt, weshalb man sich Gedanken über einen Grund auf neuen Entwurf machte. Juan Trippe war das nur recht, denn der charismatische und eigenwillige Pan-Am-Chef war wie so oft auf der Suche nach einer revolutionären Lösung und hatte nicht viel übrig für nur geringfügig größere Passagierkapazitäten.

Dass der Jumbo, wie Boeings 747 schon bald genannt wurde, seinen charakteristischen „Buckel“ erhielt, lag nicht zuletzt an der Mitte/Ende der sechziger Jahre weit verbreiteten Auffassung,

der Passagierluftverkehr werde schon bald vorwiegend mit Überschallflugzeugen wie der britisch-französischen Concorde oder der von Boeing geplanten 2707 abgewickelt. Ein unterschallschneller Entwurf musste daher auch die Möglichkeit zur Verwendung als Frachter bieten, und die 747 basierte sogar auf einem Militärtransporterkonzept, das in der Ausschreibung gegen die Mitte der 1960er Jahre von Lockheed entwickelte C-5 „Galaxy“ verloren hatte. Das 747-Cockpit wanderte ins „Obergeschoss“, was die Installation einer riesigen Bugklappe für Fracht gestattete.

Noch in einer weiteren Hinsicht spielte ein Militärtransporter eine wichtige Rolle als „Geburtshelfer“ der Großraum-Passagierflugzeuge (im Englischen „Widebody“ genannt beziehungsweise „Twin Aisle“ aufgrund der beiden Gänge): Für die C-5 „Galaxy“ hatten GE Aviation und Pratt & Whitney völlig neue Turbofan-Triebwerke mit hohem Nebenstromverhältnis entworfen. Daraus gingen später die zivilen Motoren CF6 und JT9D hervor, die mit ihrer Leistungsstärke den Bau des Jumbos und nachfolgender Großraumjets überhaupt erst ermöglichten.

### Es müssen nicht immer vier Triebwerke sein

Dass bereits der erste Linienflug eines Pan-Am-Jumbos am 22. Januar 1970 von New York nach London mit eintägiger Verspätung startete, war symptomatisch für die Schwierigkeiten, mit denen der Pionier unter den Widebody-Passagierjets zu kämpfen

---

#### DIE FÜNF GRÖSSTEN DREHKREUZE DER WELT (PASSAGIERVERKEHR)

---



Dubai, VAE (DXB)  
71.548.061



London, GB (LHR)  
68.310.701



Hong Kong, HK (HKG)  
64.767.139



Paris, FR (CDG)  
58.780.759



Amsterdam, NL (AMS)  
55.537.414

**Internationaler Passagierverkehr** — Die Zahl der Passagiere umfasst alle zu- und aussteigenden Fluggäste am jeweiligen Flughafen für den gesamten Zeitraum von April 2014 bis April 2015.

---

#### DIE FÜNF GRÖSSTEN DREHKREUZE DER WELT (FRACHTVERKEHR, IN TONNEN)

---



Hong Kong, HK (HKG)  
360.000



Incheon, KR (ICN)  
212.097



Dubai, VAE (DXB)  
204.075



Shanghai, CN (PVG)  
202.865

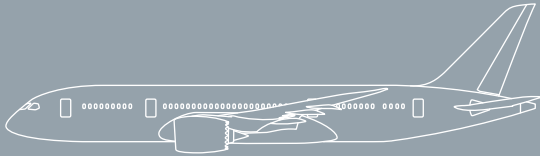


Taipeh, TW (TPE)  
174.013

**Internationaler Frachtverkehr** — Das Cargo-Volumen umfasst die gesamte be- und entladene Fracht und Luftpost am jeweiligen Flughafen für April 2015 in Tonnen.

## Moderne Widebody-Flugzeuge

**Boeing 787-8 Dreamliner** ——— *Erstflug 2009, Länge: 56,7 Meter, Flügelspannweite/Breite: 60,1 Meter*

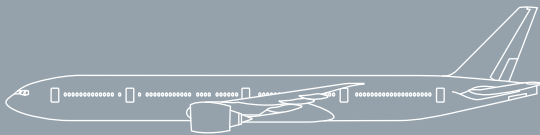


**Boeing 787-8 Dreamliner**

**Twin Aisle Widebody**

**210-250 Passagiere  
ca. 220 Tonnen Abfluggewicht**

**Boeing 777-300** ——— *Erstflug 1997, Länge: 73,8 Meter, Flügelspannweite/Breite: 60,9 Meter*



**Boeing 777-300**

**Twin Aisle Widebody**

**370-550 Passagiere  
ca. 300 Tonnen Abfluggewicht**

**Boeing 747-8** ——— *Erstflug 2011, Länge: 76,3 Meter, Flügelspannweite/Breite: 68,5 Meter*

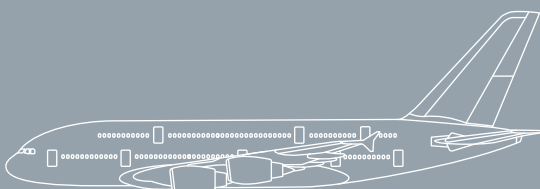


**Boeing 747-8**

**Twin Aisle Widebody,  
teilweise zweistöckig**

**470-600 Passagiere  
ca. 450 Tonnen Abfluggewicht**

**Airbus A380** ——— *Erstflug 2005, Länge: 72,7 Meter, Flügelspannweite/Breite: 79,8 Meter*

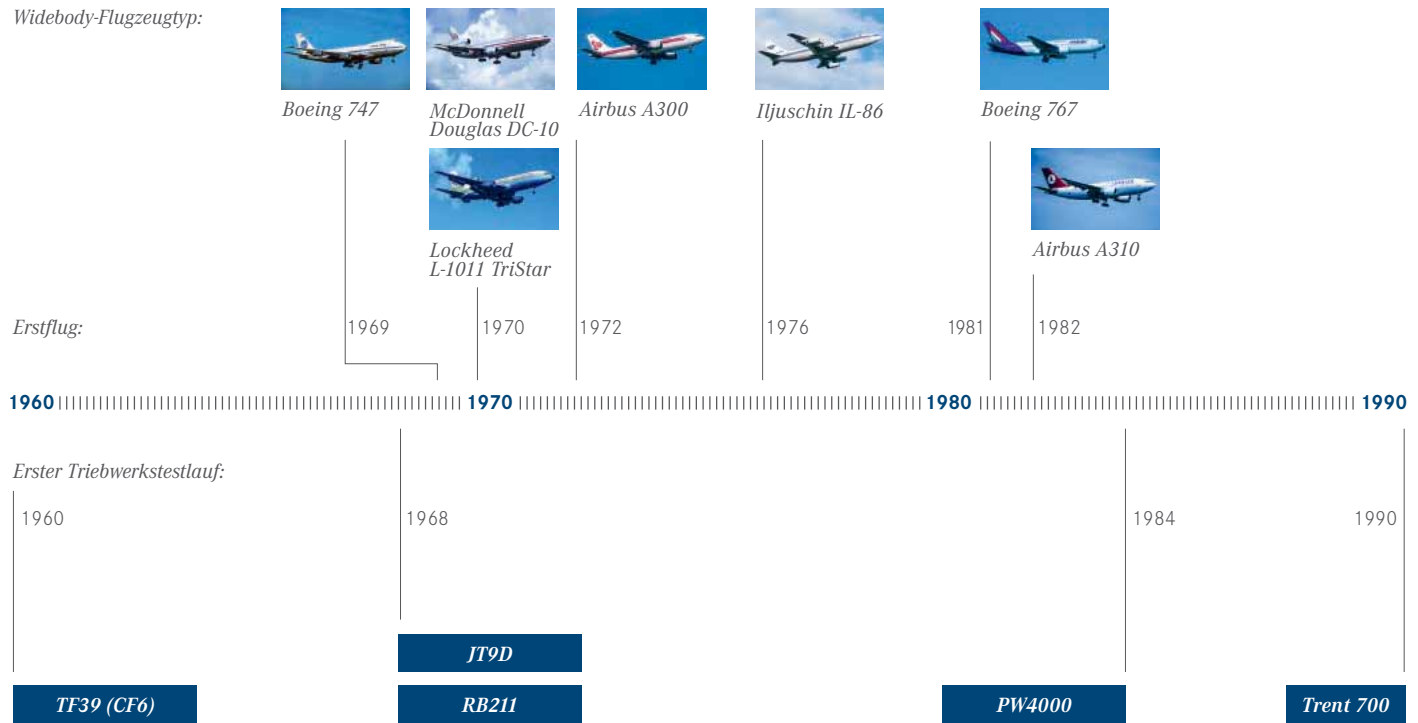


**Airbus A380**

**Twin Aisle Widebody, zweistöckig**

**540-850 Passagiere  
ca. 575 Tonnen Abfluggewicht**

WIDEBODY-FLUGZEUGE UND -TRIEBWERKE SEIT DEN 1960ER JAHREN BIS HEUTE



hatte. Viel schwerwiegender als die anfängliche Unzuverlässigkeit der JT9D-Triebwerke war jedoch die Ölkrise Anfang der siebziger Jahre und der nicht zu verleugnende Umstand, dass der Jumbo für viele Strecken schlicht zu groß war.

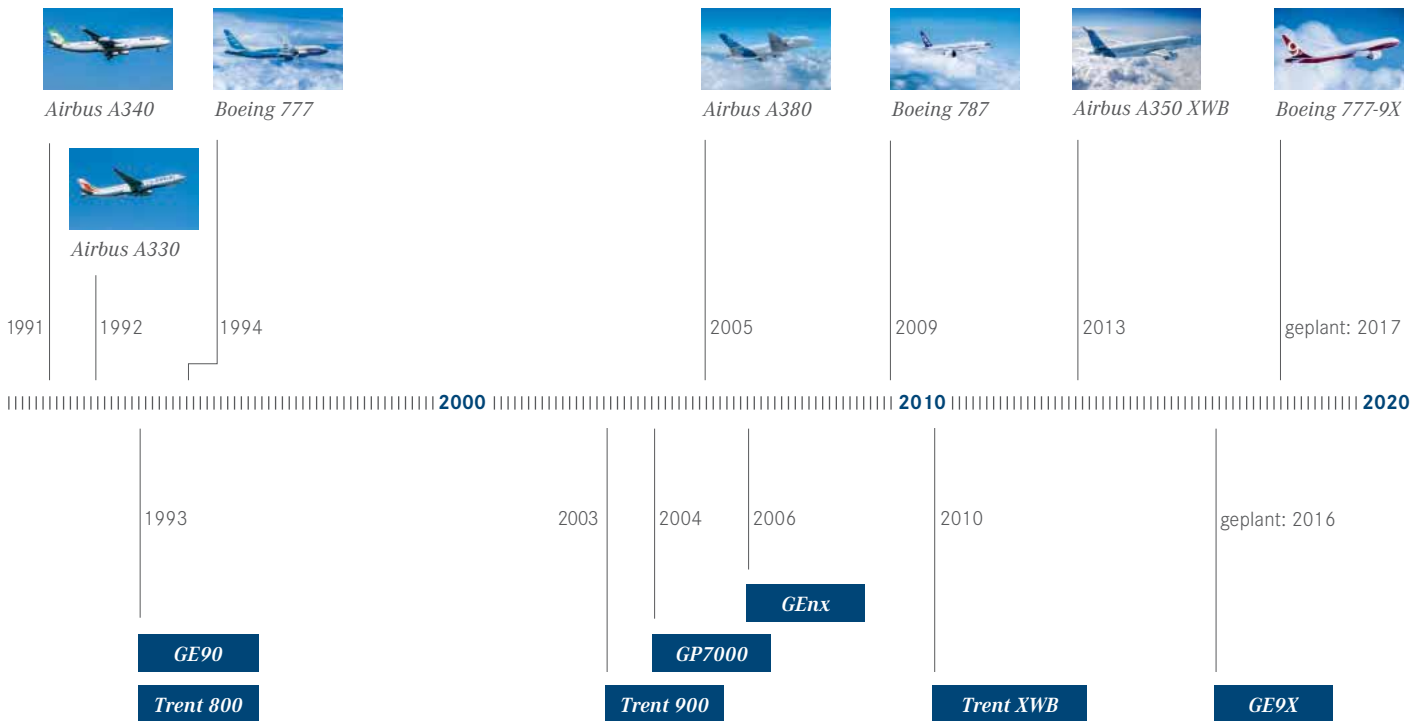
Allerdings taten sich auch die nahezu zeitgleich auf den Markt gekommenen etwas kleineren Widebodys der Konkurrenz schwer. Mitte der sechziger Jahre hatte der American-Airlines-Manager Frank Kolb in einem Strategiepapier die Anforderungen an ein künftiges Großraumflugzeug für aufkommensstarke Mittelstrecken festgelegt: Es sollte rund 300 Passagiere befördern können und über lediglich zwei Triebwerke verfügen. McDonnell Douglas und Lockheed entschieden sich allerdings, ihren neuen Jets drei Motoren zu verpassen. Im Abstand von knapp einem Jahr wurden die DC-10 am 5. August 1971 und die L-1011 „TriStar“ am 26. April 1972 in Dienst gestellt. Sie waren zunächst vorwiegend im US-Inlandsverkehr, später dann auch auf interkontinentalen Verbindungen zu finden. Dort lösten sie zunehmend die kleineren Single Aisle-Vierstrahler ab, die aufgrund ihrer niedrigeren Kapazität

deutlich unwirtschaftlicher und zudem wegen ihrer Triebwerke mit geringerem Nebenstromverhältnis viel lauter waren.

**Mit zwei Motoren über den Atlantik**

Der zweistrahlige Flieger nach Kolks Vorstellungen wurde dann tatsächlich noch gebaut – allerdings nicht von einem der etablierten US-amerikanischen Hersteller, sondern von einem Newcomer auf der anderen Seite des Atlantiks. Die A300, im Rahmen des Airbus-Konsortiums federführend von Frankreich und Deutschland mit britischer, später auch spanischer Beteiligung entwickelt, hob am 28. Oktober 1972 erstmals ab und wurde von Mai 1974 an im Liniendienst eingesetzt.

Wohl niemand vermochte damals zu erahnen, welche grundlegenden Veränderungen in der Branche das Auftauchen dieses europäischen Jets nach sich ziehen würde: Zum einen sahen sich Boeing & Co. mit einem Herausforderer konfrontiert, der innerhalb von rund vier Jahrzehnten die Hälfte des Weltmarktes für sich erobern konnte und entscheidend dazu beitrug, dass



sich Lockheed vom zivilen Markt zurückziehen und McDonnell Douglas das Heil in einer Fusion mit Boeing suchen musste. Zum anderen gestatteten es die von der A300 abgeleitete A310 und noch viel mehr die etwa zeitgleich auf den Markt gekommene Boeing 767, Langstreckenflüge mit zweistrahligen Flugzeugen durchzuführen und dabei auch Nonstop-Verbindungen abseits der großen Luftverkehrs-Drehkreuze anzubieten.

Es war vor allem der erheblich gestiegenen Zuverlässigkeit der modernen Turbofan-Antriebe zu verdanken, dass die Flugzeiten, die zweimotorige Jets bei einem Triebwerksausfall vom nächstgelegenen Ausweichflughafen entfernt sein durften, immer weiter erhöht wurden. Nachdem Mitte der achtziger Jahre erstmals Transatlantikflüge mit A310 und B767 durchgeführt worden waren, sind heute – je nach Flugzeugtyp – ETOPS-Zulassungen („Extended-range Twin-engine Operational Performance Standards“) von fünf Stunden und mehr möglich, so dass praktisch jede Flugverbindung auf dem Globus ohne Umwege auch von Jets mit nur zwei Triebwerken bedient werden kann.

### Größer und weiter

Die Antriebe wurden aber nicht nur zuverlässiger, sondern auch immer leistungsfähiger, so dass sich die Flugzeuggröße, ab der zwei Motoren nicht mehr ausreichend waren, immer weiter nach oben verschob. Auch hinsichtlich der Reichweite brauchten sich die Zweistrahler bald nicht mehr zu verstecken. Bereits Anfang der neunziger Jahre hatte Airbus der vierstrahligen A340, die immerhin theoretisch bis zu 440 Passagiere befördern durfte, die gleich große, aber nur zweimotorige A330 zur Seite gestellt, die sich dann tatsächlich deutlich besser verkaufte. Ein Riesenerfolg war auch die Mitte der Neunziger erstmals ausgelieferte und ebenfalls zweistrahlige Boeing „Triple Seven“, für die GE Aviation, Pratt & Whitney sowie Rolls-Royce-Triebwerke entwickelten, deren Abmessungen und Leistungsdaten in bis dahin unbekanntere Größenordnungen vorstießen.

Besonders augenfällig wurde diese Entwicklung, als Anfang des Jahrtausends neue Versionen von A340 und Boeing 777 auf den Markt kamen, die hinsichtlich der Reichweite und Passagier-

kapazität eindeutig als Nachfolger früher 747-Modelle konzipiert waren. Die zweistrahligen 777-200LR und -300ER erbrachten nicht nur dieselben oder sogar bessere Leistungen als A340-500 und -600, sie taten dies auch zu niedrigeren Kosten. Airbus zog die Konsequenzen in Form der A350 XWB und setzt seither unterhalb der A380 ebenfalls nur noch auf zweistrahlige Muster.

### Wohin geht die Reise?

Angesichts der immer effizienter werdenden Twins – die Sitzkilometerkosten der aktuell in der Entwicklung stehenden Modelle A350-1000 und Boeing 777-9 werden voraussichtlich mit denen der A380 mithalten können – kann es nicht ausbleiben, dass über die Notwendigkeit von Flugzeugen wie der A380 oder der nur geringfügig kleineren aktuellen Jumbo-Version 747-8 diskutiert wird. „Die Verkäufe von Großraumflugzeugen mit zwei Etagen entwickeln sich nicht so gut wie vor zehn Jahren prognostiziert“, stellt Dr. Marc Le Dilosquer, Leiter Marktanalyse bei MTU Aero Engines, fest. In der Tat halten sich die Fluggesellschaften gegenwärtig mit neuen Bestellungen zurück. Dies mag allerdings

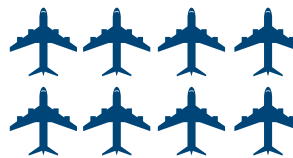
**Großzügige Weite** — Blick in die Bar (oben) und Economy Class einer A380.



### EINSATZ VON WIDEBODY-FLUGZEUGEN

80%

im Passagierverkehr:



20%

im Frachtverkehr:



Ein Fünftel der weltweiten Widebody-Flotten fliegt derzeit im Luftfrachtverkehr.

Quelle: Flightglobal Fleet Analysis, 2015

auch mit einem veränderten Marktumfeld zusammenhängen: Das rasante Wachstum der Airlines vom Persischen Golf hat dazu geführt, dass sich Verkehrsströme verlagert haben; wer von Europa nach Ozeanien reist, fliegt nicht mehr automatisch über Hongkong, Singapur oder Bangkok, nutzt nicht mehr zwangsläufig Qantas Airways, Singapore Airlines, Thai Airways International und Cathay Pacific, die auf diesen Routen viele Jahrzehnte dominierten. Wenn Airbus allerdings die A380 mit neuen Triebwerken ausrüstet und damit den alten Betriebskostenvorteil gegenüber den kleineren Zweistrahlern wieder herstellt, will Emirates als größter A380-Kunde weitere Exemplare des weltgrößten Verkehrsflugzeugs kaufen.

John Leahy, Verkaufschef des europäischen Herstellers, jedenfalls verbreitet nach wie vor Zuversicht: In den kommenden 20 Jahren werde sich die Zahl der „Mega-Citys“, nach Airbus-Definition Städte mit mehr als 10.000 täglichen Passagieren auf Langstreckenflügen, von heute 47 auf dann 91 nahezu verdoppeln. Und das, so Leahys nachvollziehbares Argument, schaffe den Bedarf für Flugzeuge wie die A380. Allerdings hält Randy Tinseth, Vice President Marketing bei Boeing Commercial Airplanes, mit ebenso schlüssigen Argumenten dagegen: In den vergangenen zehn Jahren ist die Zahl der angeflogenen Ziele beispielsweise in Tokio Haneda und Narita oder in Seoul Incheon – also an Flughäfen exakt solcher Mega-Citys – zwischen 26 und 33 Prozent gewachsen, während gleichzeitig die Zahl der pro Flugzeug angebotenen Sitzplätze im zweistelligen Bereich zurückging. Der Markt verlange nach mehr Frequenzen statt nach größeren Flugzeugen, so seine Schlussfolgerung.

Dass der weitaus größte Teil des Langstrecken-Passagierverkehrs künftig von Twins abgewickelt werden wird, dürfte in der Tat unstrittig sein. Dennoch ist es für einen Abgesang auf die A380 noch zu früh. Immerhin wurde auch der „Jumbo“ erst mit der gründlich überarbeiteten Version 747-400 – mehr als 20 Jahre nach dem Jungfernflug des ersten Prototypen – der Verkaufsschlager, als der er heute in Erinnerung ist.



## Inside MTU \_\_\_\_ Widebody-Antriebskompetenz bei MTU Aero Engines



**Bewährte Technologie** \_\_\_\_ Ein CF6-80C2  
in der Instandhaltung bei der MTU Maintenance.



**Gigant im Test** \_\_\_\_ Ein GP7000 auf dem Prüfstand.

Seit mehr als vier Jahrzehnten ist MTU Aero Engines aktiv an der Entwicklung und Produktion von Widebody-Antrieben beteiligt, und die Rolle des deutschen Triebwerkherstellers ist in dieser Zeit immer bedeutender geworden. Der Einstieg gelang Anfang der 1970er Jahre beim CF6 von GE Aviation, einem der erfolgreichsten Turbofan-Triebwerke überhaupt, das beispielsweise bei A330, B747 und MD-11 Verwendung findet. MTU fertigt hierfür Teile der Turbine und des Verdichters.

GE-Konkurrent Pratt & Whitney wiederum ist am PW4000 beteiligt, einem von drei Antrieben für die ursprünglichen 777-Versionen. MTU konnte sich dabei den Auftrag für die Entwicklung der Niederdruckturbinen sichern, die zu großen Teilen auch im eigenen Haus gefertigt wird.

Für den A380-Antrieb GP7200 entwickelt und fertigt MTU nicht nur die Niederdruckturbinen und das Turbinenzwischengehäuse, sondern produziert auch Komponenten der Hochdruckturbinen

und kommt so auf einen Programmanteil von stolzen 22,5 Prozent (siehe "Gutes kann noch besser werden" auf Seite 22).

Für GE entwickelt und produziert MTU die Turbinenzwischengehäuse des GEnx (Antrieb von Boeing 787 und 747-8) und des GE9X, das die neuen Boeing-Langstreckenmodelle 777-8 und 777-9 antreiben wird (siehe „Mittendrin“ auf Seite 40).

Widebody-Triebwerke sind für MTU aber nicht allein auf der Entwicklungs- und Fertigungsseite von Belang. Bei der MTU Maintenance in Hannover machen die Antriebe von Großraumflugzeugen inzwischen rund ein Drittel aller Überholungsereignisse aus. Wichtigstes Produkt ist gegenwärtig das CF6, und das wird nach Auskunft von Norbert Möck, Director GE Programs bei MTU Maintenance, noch eine Weile so bleiben. Aber auch vom GE90, das seit drei Jahren zum Portfolio gehört, haben mittlerweile bereits mehr Exemplare als geplant die Hallen in Hannover durchlaufen.



Fragen, Wünsche, Anregungen? Hier erreichen Sie die Redaktion:  
[aeroreport@mtu.de](mailto:aeroreport@mtu.de)



Mehr zum Thema: [www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)



Autor:

**Achim Figgen** ist Diplom-Ingenieur der Fachrichtung Luft- und Raumfahrttechnik und hat bereits mehrere Bücher über Luftfahrt-Themen verfasst.







# Die Lastesel der Lüfte

*Großraumflugzeuge im Frachteinsatz.*

**Autorin:** *Silke Hansen*



### Widebodys dominieren

Auch wenn es in der Luftfracht immer wieder zu spektakulären Transporten kommt, spielen die riesigen Spezialfrachter wie die Beluga von Airbus, die Boeing 747-400 Dreamlifter oder das weltweit größte Flugzeug, die Antonov AN-225, im täglichen Air Cargo-Geschäft eine untergeordnete Rolle. Die wahren Lastesel der Lüfte sind die Widebodys, die Großraum-Frachtflugzeuge. „Sie erledigen das eigentliche Cargo-Geschäft, vor allem auf der Langstrecke“, bestätigt Lars-Dean Hutt, Senior Powerplant Engineer von Air Atlanta Icelandic, einem isländischen Frachtspezialisten (siehe Inside MTU). Weltweit sind 1.700 Frachtflugzeuge im Einsatz, davon 1.100 Widebodys. Die Flotte besteht aus neu produzierten Frachtern und umgebauten ehemaligen Passagiermaschinen. „Der Anteil an neu gekauften Widebody-Frachtern ist sehr hoch, da die konvertierten Maschinen durch den Umbau Gewicht zulegen und daher im Vergleich zu reinen Frachtversionen weniger effizient sind“, erklärt Dr. Marc Le Dilosquer, Marktexperte der MTU Aero Engines. Boeing beherrscht diesen Markt. Vier Modelle sind derzeit verfügbar, darunter drei der Amerikaner: die 777-200ERF, 747-8F und 767-300ERF, sowie die A330-200F von Airbus.

### Weniger Stopps, schnellere Umschlagszeiten, wettbewerbsfähigere Kosten

„Die Vorteile der Widebodys im Frachteinsatz sind ihre Reichweite, Ladekapazität und Betriebskosten“, erklärt Paul Chase, Chief Operating Officer der US-Frachtairline Southern Air. Southern Air mit Fokus im Expressgeschäft hat fünf 777F für DHL auf Leihbasis im Einsatz: „Wir schaffen mit der neuen treibstoffsparenden Widebody-Generation Frachtrouten mit weniger Stopps, schnelleren Umschlagszeiten und wettbewerbsfähigeren Kosten“, so Chase.

Die Devise im Luftfrachtgeschäft lautet: So viel Gewicht und Volumen mitnehmen, wie es geht, denn die Kunden bezahlen für Kilogramm und Kubikmeter, nicht für Flüge. Und das können die Widebodys am besten. „In einem Frachtjumbo können Sie Fuß-

*„Die Vorteile der Widebodys im Frachteinsatz sind ihre Reichweite, Ladekapazität und Betriebskosten.“*

**Paul Chase,**  
Chief Operating Officer der US-Frachtairline Southern Air

ball spielen“, verdeutlicht Hutt. Viele Frachtfluggesellschaften schwören auf Widebodys und haben den Jumbojet in ihrer Flotte. „Gerade der 747-Frachter hat den einzigartigen Vorteil, dass sich für die Beladung die Flugzeugnase öffnen lässt.“ Damit sind der Länge des Transportguts so gut wie keine Grenzen gesetzt.

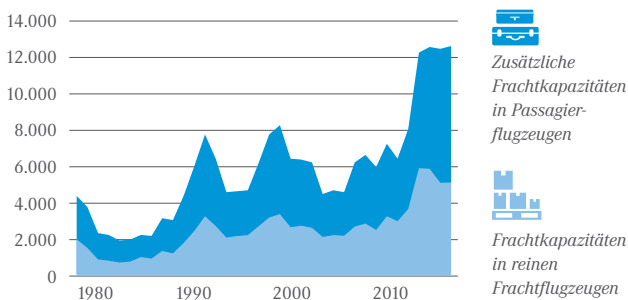
Die kleineren Narrowbody-Frachter gibt es dagegen nur als umgebaute Ex-Passagiermaschinen. „Sie sind eine vergleichsweise billige Variante mit genügend Reichweite und Effizienz“, so Le Dilosquer. Ihre Spezialität ist die Airmail. Vor allem in den USA werden mit ihnen Luftpost und Pakete befördert.

### Welthandel gibt am globalen Frachtmarkt den Takt vor

Der Luftfrachtmarkt, stark abhängig vom weltweiten Wirtschaftshandel, ist nach wie vor unter Druck. Die Finanzkrise und ein hoher Ölpreis ließen ihn 2009 massiv einbrechen. Marktanteile gingen an Schiff und LKW. Die seit etwa 2010 beschleunigte Entwicklung immer riesiger Containerschiffe sorgt zudem für rasant wachsende Frachtkapazität am weltweiten Verlademarkt. 2013 setzte dennoch ein erster Luftfracht-Aufschwung ein, 2014 folgte mit 5,8 Prozent ein Comeback-Jahr. Ein anhaltender Trend? Die International Air Transport Association (IATA) prognostiziert ein Wachstum von 4,1 Prozent pro Jahr bis 2018. CEO Tony Tyler: „Nach Jahren der Flaute ist ein durchschnittliches Wachstum von über vier Prozent eine deutliche Verbesserung. Seit 2011 hat das Frachttonnenvolumen zum Beispiel jährlich um 0,6 Prozent zugelegt.“ Ein schwankender Ölpreis und die Konkurrenz von Schiff und Schiene könnten den positiven Trend allerdings bedrohen, so Tyler. „Die Luftfrachtindustrie kann sich bestimmt nicht zurücklehnen.“

Auffällig sind die großen regionalen Unterschiede: Asien ist aufgrund der Globalisierung der Zulieferketten zum größten Markt aufgestiegen. Die wichtigsten Routen der Luftfracht verlaufen zwischen Nordamerika - Asien, Europa - Asien, gefolgt von Nordamerika - Europa. Sie machen rund 49 Prozent der gesamten Luftfrachttonnen-Kilometer (RTK=Revenue Ton Kilometer) aus. Auf den Strecken dominieren die Widebodys. Die Ost-West-Verbindungen sind zudem die größten Seefrachtmärkte. Doch neue Märkte entstehen. Der Mittlere Osten verzeichnet 15-Prozent-Zuwachsraten pro Jahr. Die IATA sieht die Vereinigten Arabischen Emirate bis 2018 auf Platz drei der Top Ten bei den größten internationalen Air Cargo-Märkten hinter den USA und China.


ENTWICKLUNG DER FRACHTKAPAZITÄT IN FLUGZEUGEN (IN TONNEN)



+ 200% ——— Steigerung der Luftfrachtkapazitäten seit 1980.

Quelle: International Air Transport Association (IATA)

Das Wachstum führt jedoch nicht automatisch zu einer höheren Nachfrage nach neuen Frachtflugzeugen, auch wenn Boeing mit einem Bedarf an 840 neuen und 1.330 umgebauten Frachtern bis 2033 rechnet. Mehr als 70 Prozent davon werden große Widebodies mit über 80 Tonnen Ladekapazität sein. Der Markt hat mit Überkapazitäten zu kämpfen. Bevor die Nachfrage nach neuen Frachtern bei anhaltendem Wachstum wieder anzieht, muss erst die vorübergehend stillgelegte Flotte absorbiert werden. Zahlreiche Frachtflugzeuge stehen in der Wüste. „Eine große Zahl an 747-Frachtern ist geparkt, umgebaute Varianten und reine Frachter“, so Luftfahrtanalyst Richard Evans. Einige könnten jetzt reaktiviert werden, meint der Branchenkenner.

Zudem nimmt seit ein paar Jahren das Geschäft mit der „Belly-Fracht“, der Frachtzuladung im Unterdeck bei Passagierflügen stark zu. Die 777 von Boeing ist das perfekte Modell dafür. Sie kann anders als die größere A380 bei vollem Gepäck noch sehr viel zusätzliche Fracht transportieren. Emirates nutzt das zum Beispiel sehr stark. Eine Trendwende, die sich abzeichnet und sich mit der 777X verstärken wird, so Le Dilosquer. 

**Frachtriesen** \_\_\_\_\_ *Hohe Ladekapazität und Reichweite sprechen beim Lufttransport für Widebodies. Atlas Air und Aerologic haben 747-beziehungsweise 777-Frachtmaschinen im Einsatz.*



## Inside MTU \_\_\_\_\_

### *Iron Maiden an Bord*



Wenn Iron Maiden 2016 auf große Welttournee gehen, fliegt Sänger Bruce Dickinson die Band höchst persönlich um den Globus – samt Bühne und Roadies. Den Jumbojet dafür leiht sich der lizenzierte Pilot in Island bei Air Atlanta Icelandic. Der langjährige MTU-Kunde ist Experte für ein solches Wet-Leasing. Im Klartext bedeutet das: Flugzeug, Crew, Instandhaltung und Versicherungen stellt die Airline als Gesamtpaket dem Kunden zur Verfügung, den Flieger in der gewünschten Lackierung, die Crew in passender Uniform. Air Atlanta Icelandic ist die größte Fluglinie des Landes und befördert im Auftrag anderer Airlines Passagiere und Fracht. „Im Frachtgeschäft ist das Wet-Leasing weit verbreitet“, erklärt Lars-Dean Hutt, Senior Powerplant Engineer der Airline. Die Frachtflotte besteht aus acht Boeing 747-400 – neue und umgebaute Maschinen. Kunden sind zum Beispiel Saudia Cargo oder Air Bridge Cargo.

Air Atlanta Icelandic vertraut seine CF6-80C2-Jumboantriebe der MTU Maintenance an. Pünktlichkeit und Zuverlässigkeit sind im Luftfrachtgeschäft geboten – das gilt auch für die Triebwerke. Die MTU betreut das Who is Who der Luftfrachtbranche: Atlas Air, Southern Air, Aerologic, Cargolux, DHL oder UPS schicken ihre Triebwerke zur Maintenance in die MTU-Shops. „Im Frachtgeschäft zählen die gleichen hohen Standards bei Qualität und Sicherheit wie im Passagiergeschäft“, erklärt Hutt.



## Flugzeug vs. Schiff

Straße, Schiene, Wasser oder Luft – fast alle Güter können im weltweiten Warenstrom über diese Transportwege bewegt werden. Für interkontinentale Fracht gibt es oft nur zwei Alternativen: Schiff oder Flugzeug. 9,5 Milliarden Tonnen wurden 2013 weltweit per Schiff verfrachtet, 42 Millionen Tonnen mit dem Flugzeug.

**24h** Im September 2014 flogen Boeing 777- und 747-Frachter das neue iPhone 6 frisch aus der Fabrik in Zentralchina in die USA ein. Bei Mobiltelefonen ist die Innovationsgeschwindigkeit hoch, tagelange Schiffspassagen bedeuten einen enormen **Zeitverlust**. Gerade einmal ein Prozent der gesamten Tonnage des Welthandels wird per Luftfracht transportiert, ihr wertmäßiger Anteil liegt dagegen bei 35 Prozent. Für 2012 errechnete das Statistische Bundesamt einen durchschnittlichen Wert einer Flugzeugfrachttonne von 70.669 Euro, eine Schiffsfrachttonne kam im Vergleich nur auf 1.896 Euro. Vor allem kapitalintensive Güter, Computer, Medizintechnik, Maschinen und Fahrzeuge, werden mit dem Flugzeug verschickt. Need to speed gilt auch bei Hilfstransporten, Terminsendungen, Paketen oder Ersatzteilen. Sogenannte Express-Carrier wie UPS oder FedEx leben von der Geschwindigkeit des Fliegens. Leicht verderbliche Ware wie frischer Fisch muss schnell ans Ziel gebracht werden und nimmt daher den Weg durch die Luft. **Vorteil: Flugzeug.**

**17** **Zuverlässigkeit und Sicherheit** sprechen ebenfalls für eine Luftbeförderung. Exakt eingehaltene Flugpläne und hohe Sicherheitsvorschriften der Luftfahrt sind Argumente beim Transport von Diamanten, Goldbarren oder Formel-1-Rennwagen, die strikter Geheimhaltung unterliegen. Temperatursensible Güter wie lebende Tiere oder Schnittblumen können unter idealen Bedingungen im Luftfrachter transportiert werden. **Vorteil: Flugzeug.**



<b>Schnelligkeit</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Zuverlässigkeit und Sicherheit</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Kapazitäten</b>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Umweltfreundlichkeit</b>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

**CO<sub>2</sub>** Beim maritimen Transport hat vor allem die Containerfracht in der Vergangenheit stark zugenommen, das Volumen stieg durchschnittlich um 7,4 Prozent pro Jahr. Eine Boeing 777F hat eine Frachtkapazität von circa 100 Tonnen, das Containerschiff „Gudrun Maersk“ etwa kommt auf rund 105.000 Tonnen. Die enormen **Kapazitäten** in Verbindung mit geringeren Treibstoffkosten macht die Schiffsfracht um ein Vielfaches günstiger. Die Passage auf dem Containerschiff kostet bei gleicher Gewichtseinheit nur zehn Prozent des Flugpreises. **Vorteil: Schiff.**

**CO<sub>2</sub>** Zwar macht ein höherer **Kraftstoffverbrauch** und damit ein höherer **CO<sub>2</sub>-Ausstoß** des Flugzeuges die Luftfracht pro Transport weniger umweltverträglich als das Schiff. Doch die Luftfahrt holt auf: Laut IATA ist schon heute die gesamte Luftfahrt für rund zwei Prozent des weltweiten CO<sub>2</sub>-Ausstoßes verantwortlich, die Schifffahrt für rund vier Prozent. Zudem steigt die Energieeffizienz der Luftfahrt seit Jahren kontinuierlich. Das gilt auch für die Luftfracht – dank modernerer Flotten oder einer effektiveren Nutzung des Frachtraumes. Der Nurfrachter 777F zum Beispiel verursacht im Vergleich zu einer 747-400F 16 Prozent weniger CO<sub>2</sub>. **Vorteil: (noch) Schiff pro Transport.**

Im Juni dieses Jahres hat DHL eine Zugverbindung zwischen Hamburg und dem chinesischen Zhengzhou eröffnet. 17 Tage ist der Güterzug unterwegs – schneller als die See- und günstiger als die Luftfracht. Schiff und Flugzeug bekommen auf der Langstrecke Konkurrenz.

Fragen, Wünsche, Anregungen? Hier erreichen Sie die Redaktion: [aeroreport@mtu.de](mailto:aeroreport@mtu.de)

Mehr zum Thema: [www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)



Autorin:  
**Silke Hansen** schreibt als freie Journalistin für den **AEROREPORT**. Seit über zehn Jahren berichtet sie aus der Welt der Luftfahrt, ihre Themenschwerpunkte sind Technik, Innovation und Markt. Ein weiteres Spezialgebiet der Autorin ist das Corporate Responsibility Reporting.

**Einzigartiger Vorteil** — Der 747-400-Frachter wie hier von Polar Air Cargo kann über die Flugzeug-nase beladen werden.



# Gutes kann noch besser werden

*Vor knapp zehn Jahren erhielt das GP7000, eine von zwei möglichen A380-Antriebsvarianten, die Zulassung.*

**Autor:** Achim Figgen

Die Luftfahrtgeschichte erlaubt sich gelegentlich kleine ironische Wendungen. Denn dass es das GP7200, eines von zwei für das weltgrößte Verkehrsflugzeug angebotenen Triebwerksmustern, überhaupt gibt, verdanken Airbus und die A380-Kunden nicht zuletzt – Boeing. Die Amerikaner hatten Mitte der Neunzigerjahre ihren ersten von mehreren Versuchen gestartet, auf Basis der 747-400 ein Verkehrsflugzeug mit noch größerer Kapazität auf den Markt zu bringen. Das Problem war nur, dass keiner der drei großen Triebwerkshersteller über einen geeigneten Antrieb für die geplanten Super-Jumbos 747-500X und 747-600X verfügte – und keiner besonderes Interesse hatte, sich mit der Entwicklung eines solchen Triebwerks zu befassen.

Deshalb nahmen GE Aviation, Pratt & Whitney und Boeing zum Jahreswechsel 1995/1996 Gespräche über ein mögliches Joint Venture der beiden US-Triebwerksproduzenten auf, mit dem Ziel, wenigstens einen geeigneten neuen Antrieb zu entwickeln. Im Mai 1996 wurden der Kooperationsvertrag für die Engine Alliance unterzeichnet und gleich darauf die Arbeiten an einem neuen Triebwerk mit der Bezeichnung GP7000 aufgenommen.

Auch wenn das Vorhaben 747-500X/600X schnell wieder zu den Akten gelegt wurde, waren die investierten Dollars

nicht umsonst gewesen, denn im Sommer 1996 war bei Airbus die Large Aircraft Division gegründet worden, und zwei Jahre später, im Mai 1998, wurde im Rahmen einer Absichtserklärung festgelegt, dass die Engine Alliance das GP7200 – die „2“ steht in der Pratt & Whitney-Nomenklatur für Airbus – für das damals noch als A3XX bezeichnete weltgrößte Verkehrsflugzeug entwickeln würde. Der 747-500X/600X-Antrieb sollte GP7100 heißen.

## **Das Beste aus zwei Welten**

Für das GP7200 kombinierte man das Beste aus zwei Welten: Für den Hochdruckteil war GE zuständig, wobei man sich ausgiebig beim 777-Antrieb GE90 bediente, die einzelnen Komponenten aber an den geringeren Schubbedarf der A380 anpasste. Auch Pratt & Whitney nutzte für den Niederdruckteil Komponenten aus dem eigenen Produkt für die 777, dem PW4000, wobei die hohlen Fan-Blätter aus Titan beim GP7200 keine gerade Vorderkante erhielten, sondern sichelförmig gestaltet wurden.

Auch wenn die Engine Alliance ein Joint Venture von GE Aviation und Pratt & Whitney ist, bedeutet das nicht, dass die beiden Unternehmen auch das komplette Triebwerk fertigen. Im Gegenteil: Beträchtliche Arbeitspakete wurden an andere Hersteller vergeben. So ist

der langjährige GE-Partner Snecma aus Frankreich für den Hochdruckverdichter verantwortlich, während Techspace Aero aus Belgien den Niederdruckverdichter beisteuert. Das dickste Auftragspaket sicherte sich allerdings MTU Aero Engines. Insgesamt 22,5 Prozent des GP7200 stammen von Deutschlands führendem Triebwerkshersteller, dem Entwicklung, Fertigung und Montage der kompletten Niederdruckturbinen und des Turbinenzwischengehäuses sowie die Fertigung von Schaufeln und Scheiben der Hochdruckturbinen übertragen wurden.

## **Mehr als 500.000 Flüge**


Weil sich der A380-Erstkunde Singapore Airlines für das konkurrierende Trent 900 von Rolls-Royce entschieden hatte, musste das GP7200 dem britischen Antrieb bei Zulassung (Dezember 2004) und In-dienststellung (Oktober 2007) den Vortritt lassen. Der Motor der Engine Alliance absolvierte seinen ersten Bodentestlauf im März 2004, im Dezember desselben Jahres begann die Flugerprobung unter dem linken Flügel einer GE-eigenen Boeing 747-100. Gut zwölf Monate später, kurz vor Jahresende 2005, sprach dann die US-Luftfahrtbehörde FAA die Zulassung für den neuen Antrieb aus, und am 25. August 2006 hob erstmals ein Mega-Airbus mit GP7200-Triebwerken vom Boden ab. Seit dem 1. August 2008 muss sich der Engine Alliance-Antrieb im

Einsatz bewähren. An diesem Tag nämlich führte Emirates, der mit Abstand wichtigste Kunde des weltgrößten Verkehrsflugzeugs, den ersten A380-Linienflug von Dubai nach New York durch. Die Kombination A380 und GP7200 bewährt sich: Mehr als 99,9 Prozent der seit Indienststellung durchgeführten gut 500.000 Flüge hoben pünktlich ab; bis zu eine Million Dollar pro Flugzeug und Jahr, rechnet die Engine Alliance vor, können Airlines im Betrieb sparen, wenn sie sich für das GP7200 entscheiden und nicht für den Wettbewerber aus Großbritannien.

### Weitere Verbesserungen

Damit dieser Vorsprung auch weiterhin erhalten bleibt, wird kontinuierlich an Verbesserungen gearbeitet. Ein im Sommer 2014 angekündigtes Upgrade der Hochdruckturbinen, das bereits in 50 Neutriebwerken installiert und auch als Nachrüstung erhältlich ist, bringt eine Erhöhung der Abgastemperatur-Reserve (EGT Margin) um bis zu zehn Grad und eine Leistungssteigerung von etwa einem halben Prozent. Eine neue Regelungssoftware, die aktuell unter anderem im Rahmen eines Dauerlauftests bei MTU in München getestet wird, soll die Metalltemperaturen in der Hoch-

druckturbinen um 40 Grad reduzieren und den Treibstoffverbrauch im Steigflug um ein Prozent senken.

Mit der Leistung ihres Antriebs kann die Engine Alliance also zufrieden sein, weniger jedoch mit den Verkaufszahlen, denn die Nachfrage nach vierstrahligen Großraumflugzeugen – neben der A380 gehört noch die Boeing 747-8 in diese Kategorie – lässt gegenwärtig zu wünschen übrig. Dennoch ist Wolfgang Hiereth, Programmleiter GE-Triebwerke bei MTU Aero Engines, nach wie vor überzeugt, dass der Einstieg ins GP7000-Programm richtig war. Einerseits, weil man den Markt keineswegs aufgegeben habe und zuversichtlich sei, dass Airbus auch weiterhin A380 verkaufen werde. Andererseits, weil das GP7200 den Münchnern zum Einstieg in die nächste Generation von GE-Widebody-Antrieben verholfen hat, denn dem Auftrag für Entwicklung und Fertigung des Turbinenzwischengehäuses für das GP7200 folgten entsprechende Arbeiten für das GENx (787, 747-8) und das GE9X (Boeing 777-8X und -9X). Und nicht zuletzt profitiert auch die MTU Maintenance von Aufträgen und vom Knowhow-Gewinn bei der Instandhaltung von Widebody-Triebwerken. 

---

#### GP7200 UND AIRBUS A380

---

- 01 *Ein weiterentwickeltes GP7200 trifft zum Dauerlauftest bei der MTU Aero Engines in München ein.*
- 02 *Einschneideln der Fanblades vor dem Test.*
- 03 *Ein GP7200 im Prüfstand.*
- 04 *Airbus A380 beim Start.*



Fragen, Wünsche, Anregungen? Hier erreichen Sie die Redaktion:  
[aeroreport@mtu.de](mailto:aeroreport@mtu.de)



Mehr zum Thema: [www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)



Autor:  
**Achim Figgen** ist Diplom-Ingenieur der Fachrichtung Luft- und Raumfahrttechnik und hat bereits mehrere Bücher über Luftfahrt-Themen verfasst.

# Gipfeltreffen der Forschungsflieger

*Seltene Flugzeuge auf besonderen Missionen treffen sich im Sommer auf Island. Ihre Aufgabe: Fliegen im Dienste der Wissenschaft.*

**Autor:** *Andreas Spaeth*









**Startklar für die Wissenschaft** ——— Linkes Bild: Die McDonnell Douglas DC-8 (hinten) und eine Gulfstream der NASA warten auf ihren Einsatz bei der Erprobung neuer Techniken zur Wind- und Eisdickenmessung. Rechtes Bild: NASA-Forschungspilot Wayne Ringelberg im Cockpit der DC-8.

Treffen sich eine DC-8, eine Gulfstream III, eine Dornier 228 und eine Falcon 20 auf Island. Preisfrage: Was machen die da, eine derart illustre Runde ziemlich exotischer Flugzeuge, die im normalen Luftfahrt-Alltag nur noch selten zu sehen sind? Antwort: Sie sind hier in wissenschaftlicher Mission unterwegs. Island ist durch seine nördliche Lage ein begehrter Ausgangspunkt für fliegerische Forschungsmissionen von beiden Seiten des Nordatlantiks. Im vergangenen Sommer trafen sich hier die Forschungsfieger des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) aus dem bayrischen Oberpfaffenhofen mit ihren amerikanischen Kollegen der NASA aus Palmdale in Kalifornien. Die beiden vom Baujahr her ältesten Veteranen, die 1969 gebaute McDonnell Douglas DC-8 der NASA und die Dassault Falcon 20 des DLR, Jahrgang 1974, bildeten dabei ein Team und widmeten sich gemeinsam der Erprobung neuartiger Lasertechnik zur Windvermessung. Der neue Wind-Lidar (steht für „Light Detection and Ranging“) soll ab Ende 2016 auf einem ESA-Wettersatelliten zum Einsatz kommen. Er erfasst die Winde über dem Nordatlantik exakter und ermöglicht eine präzisere Wettervorhersage - auch dank der Vorarbeit der Forschungsflieger auf Island. Ebenso wie die Gulfstream der NASA machte dagegen die Dornier 228 des DLR auf Island nur Station: Sie verbrachte zuvor viele Tage in der Luft über Grönland und testete dabei neue Radar-Abbildungsverfahren, mit denen die Beschaffenheit des ewigen Eises in bis zu 50 Metern Tiefe aus der Luft vermessen werden kann.

„Die Flugzeuge wachsen mit ihren Aufgaben und sind technisch auf dem neuesten Stand, da ist modernste Technik an Bord, trotz der alten Flugzeugzelle“, erklärt DLR-Pilot Steffen Gemsa.

Er ist gerade nach einem vierstündigen Flug aus Grönland auf dem Flughafen Keflavik in Island gelandet mit der zweimotorigen Dornier Do 228, gebaut 1991 in Oberpfaffenhofen. Solche Flüge sind anstrengend. Die Turboprop hat keine Druckkabine, oberhalb von 10.000 Fuß (rund 3.300 Meter) Flughöhe müssen die Piloten Sauerstoffmasken tragen, wegen der Kälte in der Arktis

*„Die Maschinen wurden über viele Jahre technologisch und sensorisch so weiterentwickelt, dass nur sie können, was sie können. Die wachsen stetig mit ihren Aufgaben, so etwas kann man nicht neu irgendwo bestellen.“*

---

**Steffen Gemsa**, DLR-Forschungspilot

---

dazu oft auch noch Schutzanzüge. Verpflegung gibt es an Bord nicht, „Es ist keine Zeit zum Essen, wir leben von Keksen und Kaffee“, sagt Gemsa. Aber selbst dieses kleine Vergnügen ist begrenzt: „Wir haben keine Toilette an Bord und müssen beim Kaffeetrinken schon strategisch denken, dürfen vor Abflug nur eine Tasse trinken.“ Trotzdem liebt der Flugkapitän, der bereits über 7.000 Flugstunden in vier verschiedenen Forschungsflugzeugen des DLR am Steuerknüppel gesessen hat, seinen Job: „Das ist auf jedem Flug etwas Besonderes, auch wenn wir manchmal acht Stunden am Tag in der Luft sind.“

*„Wir machen drei bis sechs Kampagnen im Jahr, dabei dauert es allein zwei bis drei Wochen, die Instrumente einzubauen und zu kalibrieren, manchmal länger als die eigentliche Flugmission.“*

**Wayne Ringelberg**, NASA-Forschungspilot

Genauso ungewöhnlich wie sein Beruf sind die Flugzeuge, in denen er ihn ausübt: „Alles Einzelstücke, die kann man nicht ersetzen. Unsere Dornier 228 wurde 2014 auf den modernsten Standard umgerüstet, mit neuen Triebwerken und Fünfblatt-Propellern“, erklärt Steffen Gemsa. „Die Maschinen wurden über viele Jahre technologisch und sensorisch so weiterentwickelt, dass nur sie können, was sie können. Die wachsen stetig mit ihren Aufgaben, so etwas kann man nicht neu irgendwo bestellen.“ Forschungsflugzeuge sind auch deshalb meistens alt, weil Neubestellungen an den in der Wissenschaft notorisch knappen Budgets scheitern würden: „Ein neues Flugzeug kostet 30 bis 50 Millionen Euro, das kann sich die Forschung nicht leisten. Alle Forschungsflugzeuge sind auf 30 bis 40 Jahre Lebensdauer ausgelegt, die gehen mit uns in Rente“, lacht der gelernte Testpilot. Mit seinen 43 Jahren gehört er allerdings genauso wenig zum alten Eisen wie seine 24-jährige Dornier.

### **Die einzige noch fliegende Passagier-DC-8 fliegt im Dienst der NASA**

Aber der wirkliche Hingucker in Island ist ganz klar die einzige DC-8 der Welt, die noch in der Passagierversion unterwegs ist – und mit ihren 46 Jahren älter als DLR-Pilot Gemsa. Erstaunlich geräuscharm, fast leise ist der große vierstrahlige Vogel, sogar beim Start. Das ist vor allem den moderneren CFM56-Triebwerken zu verdanken, die unter die leise Lärmkategorie III fallen. Die damalige DC-8-62 wurde 1986 mit diesen Motoren nachgerüstet, die die vorherigen, sehr viel schrilleren Pratt & Whitney JT3D Turbofans ersetzen und dem Vierstrahler die Serien-Bezeichnung -72 verschafften. Das Flugzeug mit der Produktionsnummer 458 wurde als DC-8-60 vom Werk in Long Beach, Kalifornien, im Mai 1969 an Alitalia geliefert. 1979 wechselte sie den Besitzer und flog bis 1982 für die in Dallas beheimatete US-Gesellschaft Braniff International Airways. Damit endete ihr Dasein im Passagierverkehr, die NASA übernahm sie im Februar 1986 mit etwa 40.000 Flugstunden als Forschungsflugzeug. Es dauerte zwei Jahre, sie entsprechend umzurüsten, aber dann war die DC-8 die ideale Plattform für alle Arten von wissenschaftlichen Missionen ganz unterschiedlicher Disziplinen. Stationiert ist sie im Armstrong Flight Research Center der NASA innerhalb der Edwards Air Force Base in Palmdale, Südkalifornien.

### **FORSCHUNGSFLIEGER**

- 01** — Die Passagierflieger-Vergangenheit der NASA-DC-8 ist noch an den Gepäckfächern zu erkennen.
- 02** — Blick aus dem Fenster der Dornier Do 228 des DLR, die erst 2014 auf den modernsten Technikstand umgerüstet wurde.



**BESONDERE FLUGZEUGE, BESONDERES TEAM**

- 01** \_\_\_\_ Messvorrichtung am Flügel der NASA-DC-8.  
**02** \_\_\_\_ Die fliegenden Forscher von NASA und DLR am Flughafen Keflavik.  
**03** \_\_\_\_ Messsonde an der Nase der Falcon 20 des DLR.  
**04** \_\_\_\_ Kamera an der Unterseite der Falcon 20.



Die DC-8-72 ist ein sehr wirtschaftliches Fluggerät für lange Forschungsmissionen, das es den Wissenschaftlern ermöglicht, nonstop für elf oder sogar 14 Stunden zu fliegen, zu entlegenen Regionen der Erde wie etwa von Punta Arenas in Chile in die Antarktis und zurück. „Die DC-8 ist ein sehr solide gebautes, robustes Flugzeug mit einer Konstruktionsphilosophie aus den 1960er Jahren, die die härtesten Anforderungen besteht und überall auf der Welt einsetzbar ist“, sagt NASA-Forschungspilot Wayne Ringelberg. Die Festigkeit des Rumpfes ist vor allem wichtig für den Einbau wissenschaftlicher Instrumente, die es nötig machten, verschiedene Öffnungen in die Außenhaut zu schneiden oder Fenster durch Platten zu ersetzen, auf denen ganze Sammlungen von Sensoren angebracht sind. „In

diese älteren Flugzeugkonstruktionen ist eine Menge Spielraum eingebaut, die es in moderneren Typen nicht gibt“, betont Ringelberg. „Als Vierstrahler liegt der Hauptvorteil der DC-8 vor allem in ihrer Redundanz auf langen Flügen.“ Um die Emissionen von Biotreibstoff zu messen, musste die NASA-DC-8 kürzlich in die Kondensstreifen der DLR-Falcon einfliegen, „da mussten wir recht langsam sein, aber so hoch steigen wie wir konnten“, erinnert sich Ringelberg.

Üblicherweise sitzen drei Mann im Cockpit, die Piloten und der Flugingenieur, während der Navigator vorn in der Kabine seinen Arbeitsplatz hat, unweit von zwei Missionsmanagern, die die wissenschaftliche Arbeit an Bord koordinieren. Außerdem sind zwei Sicherheitstechniker

dabei, die das Funktionieren der Messinstrumente überwachen und in Notfällen Hilfestellung leisten. Damit befinden sich üblicherweise acht Mann NASA-Personal an Bord. Hinzu kommen zwei bis drei Wissenschaftler je installiertem Instrument, womit dann etwa 25 Leute in der sehr geräumigen Kabine arbeiten, die in ihrem früheren Leben für bis zu 175 Passagiere ausgelegt war. Heute stehen hier nur breite, frühere First Class-Sitze, meist von Instrumenten umgeben. Sehr auffällig sind die riesigen, rechteckigen Fenster der DC-8, die die heutigen als groß angepriesenen Fenster einer Boeing 787 oder Airbus A350 in einem anderen Licht erscheinen lassen. Und natürlich fällt das analoge Cockpit auf, mit seinen vielen Uhren und Zeigern auf den Instrumentenpanels der Piloten und des Flugingenieurs. „Wir haben bei der Avionik ein modernes Flight Management System, aber der Autopilot ist original“, sagt Wayne Ringelberg.

Insgesamt verbringt die NASA DC-8 jedes Jahr 300 bis 400 Stunden in der Luft. „Wir machen drei bis sechs Kampagnen im Jahr, dabei dauert es allein zwei bis drei Wochen, die Instrumente einzubauen und zu kalibrieren, manchmal länger als die eigentliche Flugmission“, erklärt Ringelberg. Besonders eine spezielle Eigenschaft der DC-8 schätzen die Wissenschaftler: die Möglichkeit, Messsonden direkt aus der Kabine durch ein Rohr abzuwerfen. Der unverwüsthliche Rumpf der DC-8 kennt kein Limit an Flugstunden, bisher hat dieses Flugzeug etwa 54.000 absolviert. „Wir erwarten, sie noch mindestens ein Jahrzehnt zu fliegen“, sagt der NASA-Forschungspilot. Aber dann wird irgendwann der Zeitpunkt kommen, an dem es zu schwierig wird, Ersatzteile aus ausgeschlachteten Flugzeugen zu bekommen. Als Dinosaurier will Wayne Ringelberg seine DC-8 noch nicht bezeichnen, ist sie doch nur drei Jahre jünger als er selbst: „Das hat so einen negativen Beigeschmack, ich sehe sie lieber wie einen gut gepflegten Auto-Oldtimer.“



## Die „Allzweckwaffe“ des DLR — eine A320 auf Forschungsmission



**D-ATRA** — Das größte Forschungsflugzeug der DLR-Flotte.



Die Airbus A320 mit der Seriennummer 659 ist kein ganz neues Flugzeug mehr, wie die meisten Fluggeräte im Dienste der Wissenschaft. Im Januar 1997 fand ihr Erstflug statt, anschließend folgten fast zehn Jahre Einsatz auf Passagierflügen, bei Aero Lloyd und Niki. Doch seit Ende 2008 fliegt die A320 als Flugversuchsplattform für das DLR in Braunschweig. Die A320 ist mit zwei Triebwerken des Typs International Aero Engines V2500 ausgestattet, an deren Entwicklung und Bau die MTU Aero Engines beteiligt ist. Das Advanced Technology Research Aircraft, das mit passendem Kennzeichen D-ATRA fliegt, ist das größte unter den DLR-Forschungsflugzeugen. Die Flotte aus einem Dutzend Flugzeugen und Hubschraubern

ist der größte zivile Fluggeräte-Park für Forschungszwecke in Europa. Die D-ATRA hat vielfältige Versuchsreihen zu sehr unterschiedlichen Forschungsbereichen absolviert, etwa in der Wirbelschleppenforschung und der Hochauftriebsforschung. Für letztere verfügt die A320 über ein spezielles, leistungsfähiges und Lärm reduzierendes Landeklappenkonzept. Auch ungewöhnliche Aufträge gehören zum Aufgabenfeld, etwa mit dem Ziel, bei Überfliegen eines Flugplatzes in nur 15 Metern Höhe möglichst viele Insekten an der Nase zu sammeln – Bestandteil der Forschung zu künftigen widerstandsarmen laminaren Tragflügeln.



Fragen, Wünsche, Anregungen? Hier erreichen Sie die Redaktion:  
[aeroreport@mtu.de](mailto:aeroreport@mtu.de)



Mehr zum Thema: [www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)



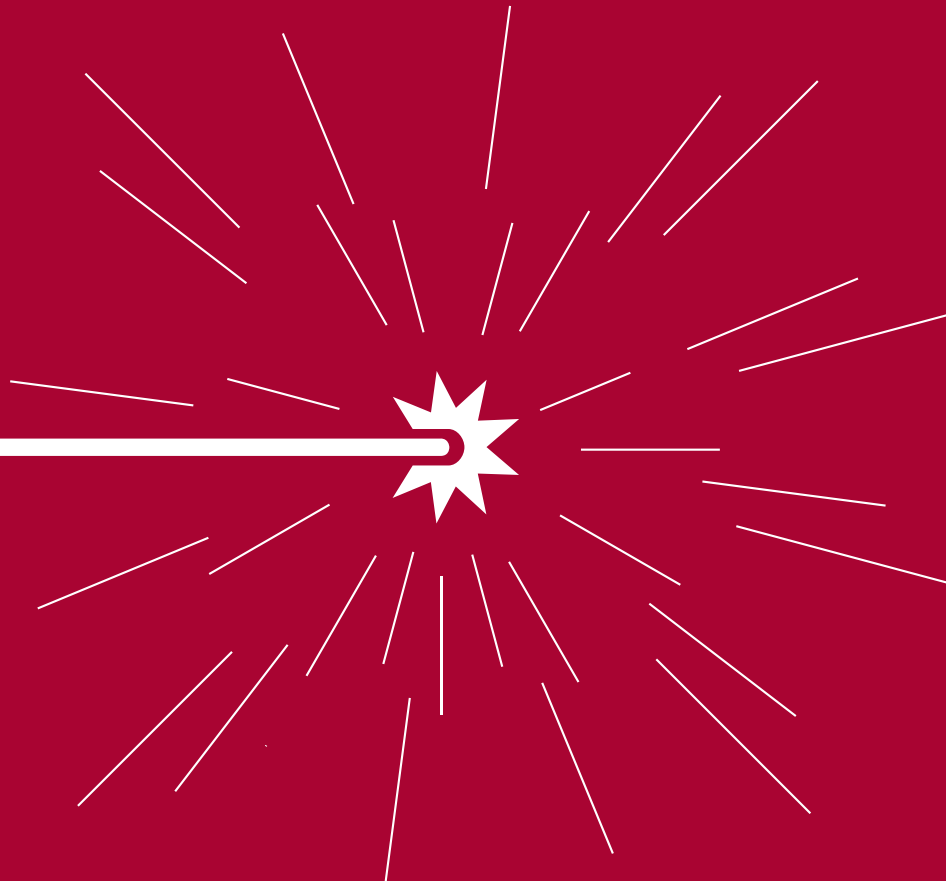
Autor:

**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.

# Schicht für Schicht

*3D-gedruckt in hochkomplexen Strukturen – extrem leicht und unglaublich stabil. Das kleine Örtchen Krailling bei München steht wie kein zweiter Fleck auf der Erde für die Erfolgsgeschichte der Additiven Fertigung.*

**Autor:** Thorsten Rienth



*Additiv gefertigte Produkte für die Luftfahrtindustrie: Kraftstoffeinspritzdüse, Turbinenrad und ultraleichte Anschnallgurtschnalle (von links).*



Es ist Mitte der 1980er Jahre, als Dr. Hans J. Langer als Mitarbeiter eines US-amerikanischen Unternehmens einen Kunden besucht und dort sieht, wie dessen Ingenieure aus flüssigen Fotopolymeren schichtweise Kunststoffteile aufbauen. Die nötige Energie kommt aus einem Laser. Langer staunt. Was, wenn sich mit dieser Methode auch funktionale Bauteile herstellen ließen? „Mir schwebte das Bild eines Vogelknochens vor: ein komplizierter Hohlkörper, der aber extrem fest und leicht ist.“

Langer spricht bei der Geschäftsführung vor. Er schlägt den Einstieg in eine Welt vor, die er Electro Optical Systems nennt, kurz: EOS. Die Technologie sei der logische nächste Schritt in der Weiterentwicklung des Unternehmens, wirbt er. Statt lediglich Komponenten herzustellen, müssten sich doch mit Lasern, feinstem Metall- oder Kunststoffpulver und der passenden Software ganze Systeme fertigen lassen. Die Chefs winken ab, doch die Idee lässt den Münchner Physiker nicht mehr los. Er sucht und findet einen Investor, schreibt die Kündigung – und legt selbst los. 25 Jahre später ist Langer CEO der EOS-Gruppe mit Sitz in Krailling bei München, dem weltweiten Technologie- und Qualitätsführer für High-End-Lösungen im Bereich der Additiven Fertigung.



### Die Grenzen setzt höchstens die Kreativität

Die Vitrinen im Showroom des Unternehmens erzählen den Weg dorthin. Er beginnt mit Modellhelikoptergehäusen, Steckern oder Robotergreifern. Entlang der Zeitachse werden die Produkte immer filigraner. Am Ende liegen Strukturen darin, die aussehen wie Schwämme – aber aus Metall sind; hocheffektive Wärmetauscher, die in einem Volumen von ein paar Kubikzentimetern nie dagewesene Oberflächen unterbringen; eine kleine Bauplattform, auf der bis zu 450 patientenindividuelle Zahnkronen und -brücken in einem Fertigungsgang hergestellt werden können. Die Grenzen der Anwendungsbeispiele setzt praktisch nur die Kreativität der Kunden: Ein Roboter, dessen Greifarm einem Elefantenrüssel nachempfunden ist. Die hohlen, konturnah gekühlten Werkzeugkerne eines Spielzeugherstellers, die sich deutlich

schneller kühlen lassen und so die Taktzeiten in der Produktion der Teile verdoppeln.

So verschieden die Endprodukte sind, so haben sie doch eines gemeinsam: Mit herkömmlichen Methoden ließen sie sich nur wesentlich teurer oder überhaupt nicht fertigen. Laser-Sintern nennt EOS seine Methode. Auch für die Aerospace-Welt ist sie geradezu prädestiniert. Denn mit der Technologie lassen sich auch existierende – und damit bereits zugelassene – Werkstoffe verarbeiten.

### Ein Laser lässt das Bauteil Schicht für Schicht wachsen

Technisch betrachtet handelt es sich dabei um dreidimensionale Mikroschweißvorgänge. Anstatt Werkstücke aus festen Blöcken zu fräsen und damit Material abzutragen, baut sie die pulverbasierte EOS-Maschine Schicht für Schicht aus Metallen, Kunst- oder Verbundwerkstoffen auf. Ein Beschichter trägt dazu nach und nach hauchdünne Schichten auf die Bauplattform auf. Ein starker Laser schmilzt das Pulver exakt an jenen Stellen auf, die ihm die computergenerierten Bauteil-Konstruktionsdaten vorgeben, und verbindet es mit der Schicht darunter. So wird das Bauteil additiv Schritt für Schritt aufgebaut. Gerade einmal 20 Mikrometer, also 20 Tausendstel Millimeter, ist eine Schicht im Metallbereich im extremsten Fall dünn.

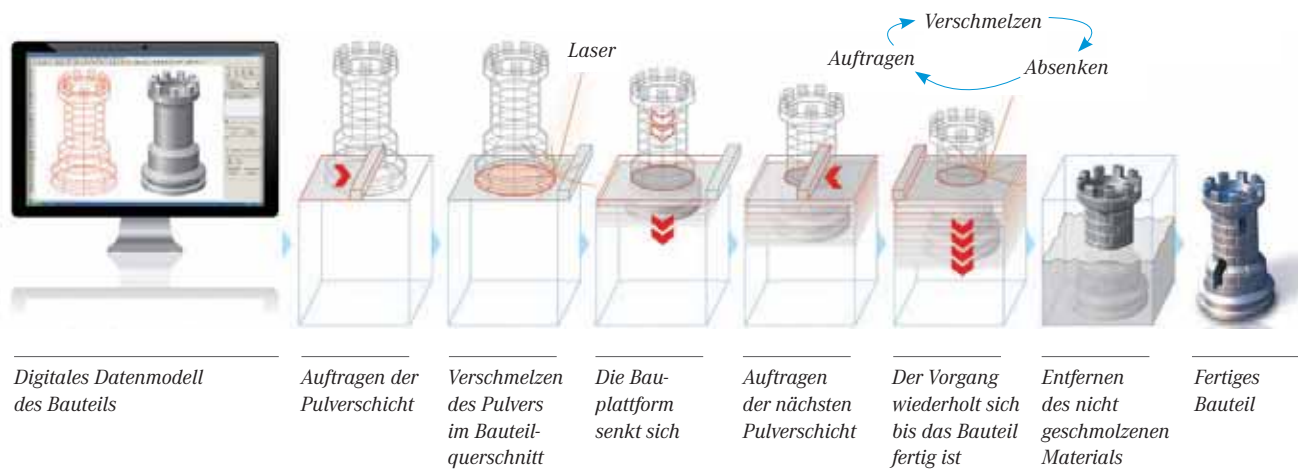
Fast jede Form, die mit einem 3D-CAD-Programm konstruierbar ist, lässt sich auf diese Weise fertigen. Design-driven Manufacturing heißt das Stichwort, bei dem die Konstruktion die Fertigung bestimmt – im Gegensatz zu konventionellen Verfahren, bei denen die Fertigung der Konstruktion Grenzen setzt. Es ermöglicht hochkomplexe Strukturen mit filigranen Details, kleine Losgrößen zu akzeptablen Stückkosten und eine starke Produktindividualisierung.

Der Prozess dahinter sieht geradezu spielerisch aus. Wie ein Miniaturfeuerwerk im Zeitraffer springt der Laser über das Pulver. „Doch das ist deutlich anspruchsvoller, als es den Eindruck macht – es

---

**FUNKTIONSPRINZIP DES LASER-SINTERNS**


---



*„Es braucht viel Erfahrung und ein klares Verständnis darüber, welche Faktoren Auswirkungen auf die Bauteilqualität haben und wie man sie entsprechend anpassen kann.“*

---

**Dr. Hans J. Langer**, Gründer und CEO der EOS-Gruppe

---

gibt dabei Millionen von Schweißnähten“, stellt CEO Langer klar. Es reiche nicht, die Maschine einfach nur mit den Daten zu füttern und zu warten, bis ein paar Stunden später das fertige Bauteil herauskommt.

Wie sehr die Technologie im Kommen ist, zeigt ein Blick auf die EOS-Zahlen. Mehr als 240 Millionen Euro Umsatz peilt das Unternehmen im Jahr 2015 an. Es wäre das zweite Jahr in Folge, in dem EOS etwa 40 Prozent im Jahr wächst. Alleine im laufenden Jahr hat sich die Anzahl der Mitarbeiter um etwa 100 auf weltweit ungefähr 740 erhöht. Sie arbeiten praktisch rund um den Globus, etwa in den USA, China, Finnland oder Italien. In Krailling baut EOS nach dem 2014 fertig gestellten Technologie- und Kundenzentrum gerade ein weiteres neues Gebäude. Langer schätzt, dass sein Unternehmen in den nächsten drei bis fünf Jahren über 1.500 Systeme verkaufen und bei Kunden installieren wird – das sind ungefähr genauso viele, wie in der ganzen Unternehmensgeschichte seit 1989 bis heute verkauft wurden.

### **Vom „Rapid Prototyping“ in die Serienfertigung**

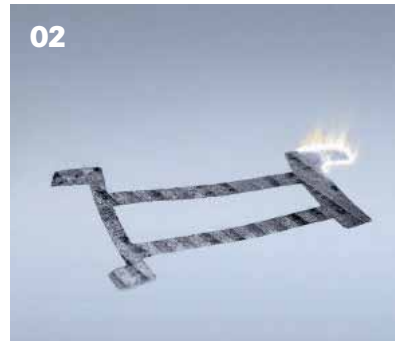
Die Ursprünge des industriellen 3D-Drucks liegen im „Rapid Prototyping“, dem Bau von Anschauungs- und Funktionsprototypen. In Zeiten immer kürzerer Marktzyklen wächst die Bedeutung von

schneller Produktentwicklung und Markteinführung. Inzwischen sind 3D-Druck-Ingenieure keine Nerds mehr, die hinter dicken Hornbrillen an futuristischen Geräten basteln. Die Technologie hält Einzug in die Serienfertigung.

Kaum eine Industriegröße, in deren Fertigung sich keine Maschinen aus Krailling befinden. Der Münchner Automobilhersteller BMW ist etwa ein Partner der ersten Stunde. Mit Siemens arbeiten die Kraillinger ebenfalls eng zusammen. Auch bei der MTU Aero Engines in München stehen Maschinen von EOS. Die erste ging im Jahr 2009 in Betrieb, als eine der ersten überhaupt in der Luftfahrtbranche. Zunächst setzte sie die MTU im Werkzeugbau ein, etwa bei Kühlmittelspritzdüsen, Schleifscheiben oder Befestigungen mit komplexeren Innenstrukturen.

„Im Mittelpunkt stand für uns erst einmal nicht die schnelle Fertigung von Triebwerksteilen“, erklärt Dr. Karl-Heinz Dusel, der bei der MTU die Additive Fertigung leitet. „Wir wollten die Technologie von Anfang an verstehen.“ Inzwischen fertigt die MTU die Boroskopaugen für das A320neo-Triebwerk PW1100G-JM additiv. „Dichtungsträger mit integrierten Honigwaben-Dichtungen sind die nächsten Bauteile, bei denen wir die Technologie umfassend einsetzen wollen“, gibt Dusel einen Ausblick.





#### ADDITIVE FERTIGUNG

- 01** \_\_\_\_ *Der neue Firmensitz des MTU-Partners EOS GmbH in Krailling bei München.*  
**02** \_\_\_\_ *Additive Fertigung eines Leitschaukelclusters bei der MTU Aero Engines:  
Der Laser schmilzt Metallpulver auf, das in Sekundenschnelle wieder erstarrt.*  
**03** \_\_\_\_ *Additiv gefertigtes Boroskopauge für den A320neo-Antrieb PW1100G-JM.*



### Inside MTU \_\_\_\_ *Optische Tomografie*

In Qualitätsangelegenheiten darf es in der Luftfahrt keine Kompromisse geben. Um sie bei additiv gefertigten Bauteilen möglichst effektiv sicherzustellen, entwickelten MTU Aero Engines und EOS im Rahmen einer strategischen Partnerschaft für die Qualitätssicherung ein neuartiges Qualitätssicherungstool für die metallbasierte Additive Fertigung. Erstes Ergebnis der gemeinsamen Arbeit ist eine von der MTU entwickelte Optische Tomographie (OT), die das modular aufgebaute EOS-Monitoring-Portfolio ergänzt: Neben zahlreichen Sensoren, die den allgemeinen Systemzustand überwachen, kontrolliert die kamerabasierte OT-Technologie den Belichtungsprozess und das Schmelzverhalten des Werkstoffes zu jeder Zeit, um die optimale Beschichtungs- und Belichtungsqualität sicherzustellen.

### Reproduzierbare Qualität und Prozessstabilität

Wie so oft profitieren von der Partnerschaft beide Seiten. „Aus unserer Perspektive ist es unglaublich wichtig, mit jemandem zusammenzuarbeiten, der die Additive Fertigung wirklich versteht“, sagt Dusel. Lediglich Prototypen herzustellen sei zu wenig. „Für die Serienfertigung ist reproduzierbare Qualität und Prozessstabilität unabdingbar.“ Genau die Stichworte also, die auch für EOS essenziell sind. „Für uns geht es darum, Konstruktionsprinzipien zu beherrschen“, erklärt Felix Bauer, bei EOS Business Development Manager Aerospace. „Nur wenn das der Fall ist, können wir Verfahren entwickeln, die der Industrie einen echten Mehrwert geben.“

Der industrielle 3D-Druck als neue industrielle Revolution? Bauer schüttelt den Kopf. „Wir werden die heutigen Fertigungsverfahren nicht ersetzen, aber bieten mit der Additiven Fertigung eine weitere Option an – je nachdem, welche für eine bestimmte Anwendung die bessere Wahl ist.“ Das mache ein generelles Umdenken nötig, bei Ingenieuren, bei Unternehmen, bei Universitäten. Bauer erzählt dazu gerne die Geschichte von einem Professor, der ihm vor ein paar Jahren nach einer Präsentation betreten gestand: „Vor kurzem hat ein Student bei mir nicht bestanden, weil er etwas konstruierte, das nach gängigen Methoden nicht zu fertigen war – mit einem additiven Verfahren hätte es funktioniert.“



Fragen, Wünsche, Anregungen? Hier erreichen Sie die Redaktion:  
[aeroreport@mtu.de](mailto:aeroreport@mtu.de)



Mehr zum Thema: [www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)



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

# „Der Raum der Entwicklungsmöglichkeiten ist vielleicht fünfzigdimensional“

*Bei der Suche nach neuen Materialien ist das Potenzial noch lange nicht ausgeschöpft, sagt Prof. Dr. Carolin Körner, Leiterin des Lehrstuhls für Werkstoffkunde und Technologie der Metalle an der Universität Erlangen-Nürnberg. Leichter, stabiler und besser durch neue Legierungen und innovative Prozesse sind die Ziele – speziell für Anwendungen in der Luftfahrt.*

**Autorin:** Eleonore Fähling

***Frau Professor Körner, Sie beschäftigen sich damit, wie schweres stabiles Metall leicht werden kann. Werden wir in zwanzig Jahren Turbinenschaufeln aus Metallschaum haben?***

**Prof. Dr. Carolin Körner:** Die Antwort auf diese Frage ist ein klares Ja. Metallschaum ist tatsächlich geschäumtes Metall, also porös und leicht. Wegen seiner mechanischen Eigenschaften eignet sich dieser Werkstoff jedoch nicht, um daraus komplette Turbinenschaufeln zu fertigen. Denkbar sind jedoch lokal poröse Schaufeln, etwa mit zellulärer Struktur im Inneren als Wärmetauscher oder mit poröser Oberfläche zur Effusionskühlung statt der heute üblichen Kühlung durch Kühlluftbohrungen. Nein also zu Schaufeln aus Schaum, aber ja, Sie können die Konzepte aus der Entwicklung von Leichtbaumetallen auch im Triebwerksbau nutzen.

***Was begrenzt generell die Einsatzmöglichkeiten von Werkstoffen im Triebwerks- und Flugzeugbau?***

**Körner:** Materialien sind bei der Entwicklung von neuen Flugzeugen und vor allem Antrieben für die Luftfahrt zur Schlüsseltechnologie geworden. Für die Weiterentwicklung von Werkstoffen für Luftfahrtantriebe gibt es unterschiedliche Richtungen: Bauteile mit integrierter Funktionalität, also etwa Bauteile mit porösen Strukturen, die Weiterentwicklung von bewährten Legierungen oder den Einsatz neuer Werkstoffe wie intermetallische Verbindungen, die in ihren Eigenschaften zwischen denen der Metalle und Keramiken stehen.

Denn damit Triebwerke effizienter werden, muss etwa die Turbine schneller laufen, müssen die darin verwendeten Materialien immer höhere mechanische und thermische Belastungen aushalten. Dafür eignen sich Verbunde und intermetallische Legierungen, die jedoch schwierig herzustellen und zu verarbeiten sind. Sie stellen ganz neue Anforderungen an die Fertigungstechnik: Wie gieße oder schmiede ich eine Schaufel aus einer intermetallischen Legierung wie



Titanaluminid, wie verbinde ich sie mit der Scheibe? Generell ist der Schmelzpunkt die physikalische Obergrenze für den Einsatz eines Materials. Für die Verwendung in der Industrie kommt dazu noch die Fertigung, die sehr aufwändig und teuer sein kann und damit auch begrenzend wirkt.

***Welche Einsatzmöglichkeiten sehen Sie generell für Leichtbaumetalle und warum brauchen wir sie?***

**Körner:** Leichtbau ist überall da wichtig, wo Ressourcen geschont, Treibstoffverbrauch und Emissionen reduziert werden sollen. Vorbild ist die Natur: Knochen beispielsweise sind Leichtbauteile, mit einer kompakten Außenhaut und einem zellularen, also geschäumten Kern. Das verleiht dem Knochen Leichtigkeit, gleichzeitig Stabilität und gute Dämpfungseigenschaften. Diese Prinzipien versuchen wir auf den Metallbau zu übertragen. Denn ein Problem im Einsatz von leichteren Materialien sind der Verlust an Steifigkeit und die damit einhergehenden Schwingungen und Geräusche. Man muss also die Konstruktion versteifen und gleichzeitig dämpfen, das Material muss mehrere Funktionen erfüllen. Bei Metallschaum etwa

haben wir diese Multifunktionalität, er bietet Steifigkeit, hohe Dämpfung, hohe Energieabsorption und gute Durchströmbarkeit. Durch die Einbettung von Piezoelementen kann das Metallbauteil sogar aktiv werden. Piezoelemente können beispielsweise Schwingungen aufbringen. Ein Anwendungsbereich in der Luftfahrt dafür könnte am Flugzeugflügel sein: Statt heute mit hydraulisch gesteuerten beweglichen Klappen könnte man den Flügel über in den Werkstoff eingebettete Aktuatoren direkt bewegen. Daran wird bereits geforscht.

***Wir können Metalle wie Kristalle züchten, wir stellen intermetallische Verbindungen her, wir können Metallbauteile im 3D-Drucker herstellen – wo sind die Innovationsgrenzen in der Metallwerkstoffentwicklung?***

**Körner:** Die Entwicklung von Legierungen ist eine uralte Geschichte, was soll da noch groß kommen? Tatsächlich stehen wir jedoch erst am Anfang, denn der Raum der Entwicklungsmöglichkeiten ist vielleicht fünfzigdimensional. Bislang haben wir davon nur winzige Bereiche untersucht. Wahrscheinlich schon



**Professor Dr. Carolin Körner** —  
 Leiterin des Lehrstuhls für Werkstoffkunde  
 und Technologie an der Friedrich-Alexander-  
 Universität Erlangen-Nürnberg (FAU).

Professor Dr. Carolin Körner hat an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) theoretische Physik studiert. Promoviert hat sie 1997 an der technischen Fakultät der FAU bei Professor H.W. Bergmann über die Wechselwirkung ultrakurzer Laserpulse mit Metallen. Sie hat sich 2007 mit einer Arbeit zu Herstellung und Simulation von Leichtmetallschäumen für Materialwissenschaften habilitiert.

Seit 2011 leitet sie den Lehrstuhl Werkstoffkunde und Technologie der Metalle an der FAU. Darüber hinaus leitet sie eine Arbeitsgruppe am Zentralinstitut für Neue Materialien und Prozesstechnik (ZMP) in Fürth und bei der Neue Materialien Fürth GmbH (NMF). Ihre Arbeitsschwerpunkte sind Additive Fertigung, Leichtmetallgießen, zellulare Werkstoffe, Verbundwerkstoffe und Prozesssimulation. Seit Jahren arbeitet sie außerdem in der Werkstoffentwicklung eng mit der MTU Aero Engines zusammen.

*„Was wir in Zukunft machen, ist kombinatorische Materialentwicklung: Wir suchen basierend auf thermodynamischen Modellen mit Hilfe von numerischen Algorithmen in diesem Raum beinahe unendlich vieler Möglichkeiten nach vielversprechenden Verbindungen und untersuchen und bewerten dann gezielt nur diese.“*

seit Jahrtausenden haben wir nach dem immer gleichen Prinzip gearbeitet: Man nehme ein Grundelement, zum Beispiel Aluminium, Eisen oder Nickel, und füge weitere Zusätze in unterschiedlichen Verhältnissen hinzu. Die entstehenden neuen Legierungen werden getestet und empirisch bewertet. Schon bei den Nickelbasislegierungen, die vor allem im modernen Flugtriebwerksbau eingesetzt werden, ist man von dieser Methode abgekommen. Was wir jetzt machen, ist kombinatorische Materialentwicklung: Wir suchen basierend auf thermodynamischen Modellen mit Hilfe von numerischen Algorithmen in diesem Raum beinahe unendlich vieler Möglichkeiten nach vielversprechenden Verbindungen und untersuchen und bewerten dann gezielt nur diese. Das ist viel effizienter als die bisherige empirische Methode.

**Warum kommen wir nicht mit den Legierungen aus, die wir schon haben?**

**Körner:** Das so genannte 3D-Drucken beispielsweise, also die Additive Fertigung von Bauteilen Schicht für Schicht mittels Laser- oder Elektronenstrahl aus Metallpulver, stellt uns vor ganz



neue Probleme und Chancen. Ein Vorteil der Additiven Fertigung ist das schnelle Erstarren des Metalls, wodurch eine bisher nie gekannte Homogenität der Legierung erreicht wird. Wir brauchen nun Legierungen, die dieses Potenzial nutzen. Wir können damit Entmischungsvorgänge umgehen, die bei den herkömmlichen Gussmethoden zwangsläufig entstehen. Die Inhomogenitäten in einer gegossenen Schaufel können ein paar hundert Mikrometer betragen, die Schaufel muss anschließend mehrere Stunden wärmebehandelt werden. Bei der Additiven Fertigung reduzieren sich die Inhomogenitäten auf wenige Mikrometer, die Wärmebehandlung dauert Sekunden.

**Welchen Anforderungen müssen künftige Werkstoffe in der Luftfahrtindustrie genügen?**

**Körner:** Sie müssen immer leichter und zugleich immer stabiler werden. Vor allem die Anforderungen an die Kriechbeständigkeit, die Oxidationsbeständigkeit und das Gewicht werden weiter steigen. Zugleich werden die Anforderungen an die Fertigungsverfahren zunehmen. Titanaluminide beispielsweise sind sehr leicht, temperatur- und kriechbeständig, aber sehr schwer

zu verarbeiten, sowohl beim Guss oder Schmieden als auch beim Abtragen. Da braucht es eventuell neue Verfahren.

**Welche Fertigungsverfahren zur Herstellung von Metallbauteilen werden wir in den nächsten Jahren anwenden? Welche werden sie ersetzen?**

**Körner:** Im Moment erlebt die Additive Fertigung einen regelrechten Boom. Ich glaube aber, dass eine gewisse Ernüchterung folgen wird, denn dass etwas machbar ist, heißt noch lange nicht, dass es auch wirtschaftlich machbar ist, ganz abgesehen von technischen Grenzen, von denen wir vielleicht noch nichts wissen. Additive Fertigung eröffnet uns neue Möglichkeiten der Konstruktion, die wir erst kennenlernen müssen. Haben wir bislang Bauteile oder Werkstücke fertigungsgerecht konstruiert, so können wir künftig anwendungsgerecht konstruieren (siehe „Schicht für Schicht“ auf S. 30). Im Zuge dessen werden außerdem Optimierungsmethoden an Bedeutung gewinnen, beispielsweise rechnerische Verbesserungen von Bauteilgeometrien unter Belastung, die so genannte Topologieoptimierung. Ich glaube jedoch nicht, dass die



*„Es gibt immer ein Wechselspiel zwischen Konstruktion und Werkstoff.“*

---

**Professor Dr. Carolin Körner**


---

Additive Fertigung eine andere Fertigungsmethode komplett ersetzen wird. Wenn Sie ein Bauteil gießen können, dann gießen Sie es, Guss ist immer noch viel kostengünstiger.

**Warum ist Innovation bei den Werkstoffen so wichtig – sind die Entwicklungsmöglichkeiten in der Konstruktion ausgereizt?**

**Körner:** Es gibt immer ein Wechselspiel zwischen Konstruktion und Werkstoff. Wenn ich die konstruktiven Möglichkeiten voll ausschöpfe, komme ich an die physikalischen Belastungsgrenzen der Werkstoffe. Wenn ich beispielsweise bei einem Verbrennungsmotor die Verbrennung im Kolben strömungsmechanisch optimiere, die Topologie des Kolbens also so verbessere, dass er effizienter arbeitet, entstehen im Kolben in der Regel höhere Drücke und Temperaturen, für die ich dann sehr wahrscheinlich wieder andere Werkstoffe brauche.

**Kann die Werkstoffentwicklung eventuell auch Ersatz für seltene Metalle finden, die heute im Flugzeugbau verwendet werden?**

**Körner:** Das hoffen wir, zum Beispiel für Scandium, das die Festigkeit von Aluminiumlegierungen erheblich erhöht, das aber auch extrem teuer ist. Wegen ihrer wirksamen Eigenschaftsänderungen in anderen Materialien und Legierungen, die schon bei Zusatz sehr kleiner Mengen auftreten, haben seltene Erden an Bedeutung gewonnen, und man sucht systematisch nach Alternativen, die ähnliche Eigenschaften aufweisen. Rhenium etwa erhöht die Kriechbeständigkeit in Nickelbasislegierungen erheblich, ist aber ebenfalls sehr teuer und nur begrenzt beziehungsweise bei wenigen Anbietern verfügbar. Derzeit wird untersucht, ob und wie es beispielsweise durch Wolfram ersetzt werden kann. Wenn die Not da ist, etwas anderes zu finden, dann findet man in der Regel auch etwas. 

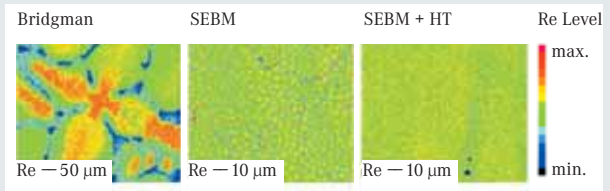



---

**GLOSSAR**


---

**Homogenität** Der Begriff beschreibt in diesem Zusammenhang die Gleichmäßigkeit der Verteilung von Atomen und Molekülen beispielsweise in einer Legierung. Durch die schnelle Erstarrung erhöht sich die Homogenität in additiv gefertigten Werkstücken deutlich gegenüber der in gegossenen Werkstücken.



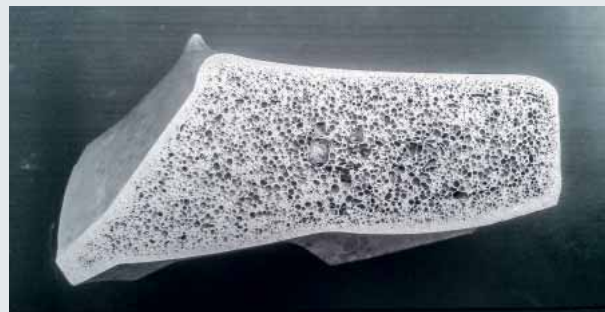
Verteilung von Rhenium in einer Legierung (CMSX-4), links: in einem gegossenen Werkstück, in der Mitte: in einem additiv gefertigten Werkstück, rechts: additiv gefertigt mit vier Minuten Wärmebehandlung.

---

**Intermetallische Verbindung** Homogene Verbindung aus zwei oder mehr Metallen, die im Unterschied zur Legierung Gitterstrukturen zeigt, die sich von denen ihrer Bestandteile unterscheiden. Intermetallische Verbindungen sind wegen der besonders starken Bindung zwischen den ungleichartigen Atomen meist härter, spröder, kriech- und temperaturbeständiger als die ursprünglichen Metalle, aber auch mit bisher gängigen Fertigungsverfahren schwer zu verarbeiten. Chemisch gesehen stehen Intermetalle zwischen Metallen und Keramiken.

---

**Metallschaum** Oberbegriff für aufgeschäumte metallische Werkstoffe. Metallschaum weist eine geringe Dichte und geringes Gewicht, jedoch eine hohe Struktursteifigkeit und -festigkeit auf. Metallschaum wird beispielsweise in Schienenfahrzeugen als Crashabsorber eingesetzt oder für die Schwingungsdämpfung in Werkzeugmaschinen.



Im Druckguss gegossenes Aluminiumbauteil mit geschäumtem Kern.



Fragen, Wünsche, Anregungen? Hier erreichen Sie die Redaktion:  
[aeroreport@mtu.de](mailto:aeroreport@mtu.de)

---



Mehr zum Thema: [www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)

---



Autorin:  
**Eleonore Fähling** ist Chefredakteurin des AEROREPORT und seit mehr als 15 Jahren verantwortlich für die Mitarbeiterzeitung der MTU Aero Engines.

---

# Mittendrin

## *Turbinenzwischengehäuse für Großtriebwerke.*

**Autor:** Patrick Hoeweler



**Widebody-Triebwerke von GE Aviation verfügen über eine Schlüsselkomponente, die aus Deutschland stammt: MTU Aero Engines entwickelt und fertigt Turbinenzwischengehäuse für das GP7000, das GENx und seit neuestem auch das GE9X.**

Hohe Temperaturen, enorme Drücke, große Drehzahlen: In einem Triebwerk herrschen die herausforderndsten Bedingungen in einem Flugzeug. Mittendrin befindet sich das Turbinenzwischengehäuse, dem eine Schlüsselrolle in jedem Turbofan zukommt. Die englische Bezeichnung „Turbine Center Frame“ (TCF) klingt ähnlich wie die deutsche Übersetzung wenig spektakulär, doch allein die Position im Antrieb verrät die Bedeutung: Der TCF liegt zwischen der Hochdruckturbinen- und Niederdruckturbinen, und erfüllt dort zwei wichtige Funktionen. Er verbindet das hintere Lager der Hochdruckwelle mit dem Gehäuse und bildet aerodynamisch den Übergangskanal zwischen der Hoch- und Niederdruckturbinen. „Hier herrschen sehr hohe Belastungen, weil die Lagerlasten durch die TCF-Struktur in das Außengehäuse geleitet werden. Bei Fehlerfällen wie einer gebrochenen Fan-Schaufel muss das Turbinenzwischengehäuse die auftretenden Lasten hinsichtlich mechanischer Integrität verkraften können“, erklärt Dr. Martin Metscher, Entwicklungsleiter GE9X bei MTU Aero Engines. Außerdem muss die Komponente dauerhaft Temperaturen von mehr als 1.000 Grad Celsius aushalten.

Ein TCF besteht im Wesentlichen aus zwei Hauptbaugruppen. Der sogenannte Hub-Strut-Case ist die tragende Struktur und stellt ein Gehäuse mit mehreren Stützstreben dar. Diese halten wiederum

die Nabe, in der das Lager sitzt. Die Verkleidung der Streben, auch Flowpath Hardware genannt, bildet den Strömungskanal für das Heißgas aus der Hochdruckturbinen. Dazu gibt es noch eine Vielzahl von Dichtungen, sowie Ölleitungen und Kühlluftleitungen, durch die Luft und Öl durch den TCF zu den Turbinen und zum Lager geführt werden.

### **High-Tech-Fertigung für Bestseller GENx**

Den Einstieg in diesen Bereich erhielt die MTU mit dem Triebwerk für die Airbus A380, dem Engine Alliance GP7000. Dessen TCF baut auf der im GE90 von GE Aviation verwendeten Ausführung auf und wurde von den MTU-Ingenieuren angepasst und optimiert. Bis dato hat das Unternehmen mehr als 400 Exemplare ausgeliefert. „Die MTU wollte sich als Kompetenzzentrum für TCFs von GE positionieren“, sagt Metscher, und im Jahr 2008 gelang dann der endgültige Durchbruch: Die deutsche Firma übernahm die Verantwortung für dieses Bauteil auch für das GENx, das die Boeing 747-8 und 787 antreibt. Wiederum konnten die Spezialisten in München den Center Frame optimieren und innerhalb kürzester Zeit die Fertigung hochfahren. Schon Ende August 2011 nahm GE das erste Segment in Empfang. Im Mai 2012 stellte Cargolux an einer Boeing 747-8 ein GENx mit einem Turbinenzwischengehäuse aus Deutschland in Dienst. Seitdem haben mehr als 700 Exemplare die Fertigungshalle am Hauptsitz der MTU verlassen. Im Schnitt entsteht pro Tag ein Turbine Center Frame.

Die hohe Produktionsrate ist nicht nur angesichts der jeweils fast 3.000 Einzelteile kein Kinderspiel, wie Metscher weiß: „Die Fertigung des TCF ist kompliziert. Wir arbeiten mit sehr großen



Teilen, die aufgrund der hohen Anforderungen an Temperaturniveau und Festigkeitswerte aus schwer zu zerspanenden Materialien bestehen.“ Die Montage erfolgt weitestgehend mit klassischen Methoden, die dennoch aufgrund der sehr hohen Genauigkeitsanforderungen so manche Herausforderung bietet. Schließlich definiert das Gehäuse die Position des Lagers, die wichtig für die Spalthaltung der Komponenten im gesamten Hochdruckbereich ist. Ein optimales Spaltmaß bleibt wiederum unerlässlich für eine hohe Effizienz des gesamten Triebwerks und stellt damit einen niedrigen Kraftstoffverbrauch sicher. Obwohl die Bauteile einen Durchmesser von teilweise rund 1,50 Metern besitzen, wäre eine Abweichung von nur einem Millimeter schon viel zu viel. Die zwei Fertigungslinien zeichnen sich durch einen hohen Grad an Automatisierung aus. „Hier definieren wir mit neuen Fertigungsmaschinen den Stand der Technik. Die Anlagen verbohren die Bauteile miteinander und verschrauben sie anschließend. Wir erproben teilweise eine automatisierte Fertigung, und arbeiten nahezu rund um die Uhr. Unsere Stärke liegt darin, dass Fertigung, Montage und Engineering stark an einem Standort verzahnt sind“, meint Metscher. Dies sieht auch der Partner aus den USA so: „MTU bringt eine enorme Erfahrung und Technologie sowohl auf der Herstellerseite als auch bei der In-

standsetzung mit. Wir sind sehr froh, MTU als Partner bei diesem und künftigen Triebwerken zu haben“, sagt Tom Levin, General Manager GENx bei GE Aviation.

### Neue Fertigungsverfahren

Weitere Fortschritte verspricht der neueste Turbine Center Frame, den die MTU nun für das GE9X-Triebwerk der Boeing 777X entwickelt. „Insbesondere bei den Streben der Hub-Strut-Cases überlegen wir, ob wir diese in Zukunft mit Hilfe des additiven Verfahrens herstellen könnten.“ Dabei schmilzt ein Laser Schicht für Schicht Bauteile aus einem Metallpulverbett auf. Im Vergleich zu Gussteilen sinken auf diese Weise die Herstellungskosten deutlich. Auch der Entwurf weist laut Metscher Verbesserungen auf: „Das TCF des GE9X musste noch einmal leichter werden als die Ausführung im GENx. Dank unserer Erfahrung und verbesserten Auslegungsvorfahren konnten wir die Komponente im Rahmen einer klassischen Evolution noch besser optimieren.“ Ende des Jahres beginnt in München die Montage des ersten Gehäuses, das dann 2016 im ersten Triebwerk bei GE Aviation getestet wird. In Dienst soll das GE9X im Jahr 2020 gehen; mehr als 800 Antriebe sind bereits verkauft. ✈



**High-Tech-Fertigung** — Montage eines GENx-Turbinenzwischengehäuses.



Fragen, Wünsche, Anregungen? Hier erreichen Sie die Redaktion:  
[aeroreport@mtu.de](mailto:aeroreport@mtu.de)



Mehr zum Thema: [www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)

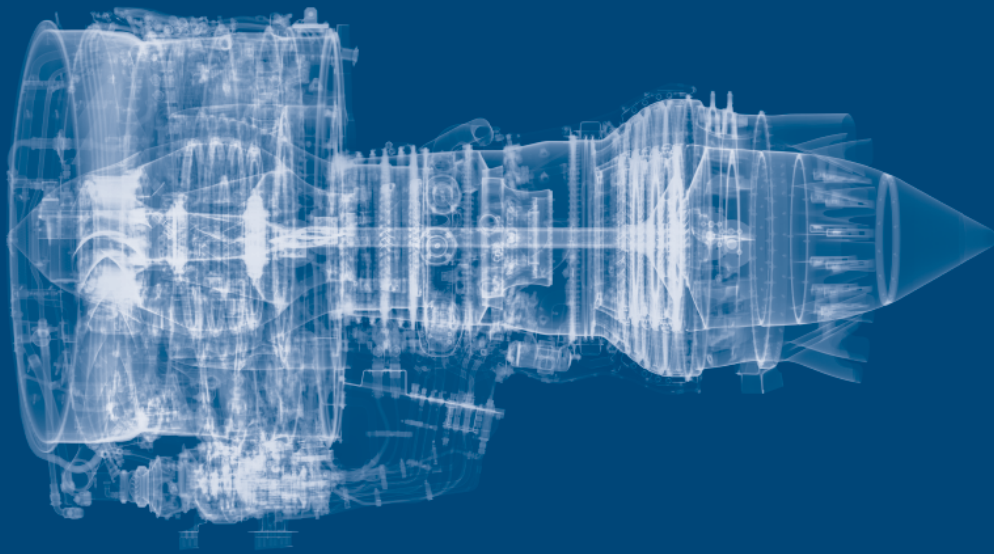


Autor:  
**Patrick Hoeveler** ist seit rund 15 Jahren als Redakteur bei dem Luft- und Raumfahrtmagazin FLUG REVUE tätig und dort unter anderem für die Rubriken Triebwerke, Regionalluftfahrt und Historie zuständig.

# Wie genau ist genug?

*Wie zerstörungsfreie Prüfverfahren zur Sicherheit in der Luftfahrt beitragen.*

**Autorin:** *Monika Weiner*



Groß, sperrig, schwer? Die Ingenieure im Fürther Fraunhofer Entwicklungszentrum Röntgentechnik (EZRT) sind den Umgang mit Überdimensionalem gewohnt. In ihrer Hochenergie-Halle, die mit einem XXL-Computertomographen ausgestattet ist, untersuchen sie tagtäglich Dinge, die für normale Materialprüfungen mindestens eine Nummer zu groß sind: ganze Autos vor und nach dem Crash-test; einen noch halb von Sediment bedeckten T-Rex-Schädel; und jetzt - in einer Machbarkeitsstudie - sogar zwei Ausstellungsstücke, einen Sternflugmotor sowie ein Testtriebwerk, Leihgaben aus dem Werksmuseum der MTU Aero Engines. Die Bilder sind beeindruckend, nicht nur wegen ihrer Ästhetik. „Schon die 2D-Röntgenaufnahmen zeigen erstaunliche Details: Die Auflösung ist gut genug, um zu erkennen, ob alle Komponenten ordnungsgemäß eingebaut wurden“, berichtet Fraunhofer-Forscher Dr. Michael Böhnel. „Noch präzisere Informationen liefert die komplette, dreidimensionale Tomographie: Mit ihrer Hilfe lassen sich beispielsweise die Spaltmaße am fertig montierten Triebwerk ermitteln.“

#### **Fehlermessung im Zehntelmillimeter-Bereich**

„So schön die Aufnahmen sind - für Routineuntersuchungen bei der Fertigung oder Instandhaltung ist die XXL-Computertomographie leider nicht geeignet“, erklärt Dr. Hans-Uwe Baron, Leiter Zerstörungsfreie Prüfverfahren bei der MTU Aero Engines. „Wir wollen Defekte ja nicht erst finden, wenn alles schon montiert ist. Zur Zeit ist die Auflösung allerdings noch zu ungenau für die Materialprüfung in der Luftfahrtindustrie.“ Baron und sein Team arbeiten in anderen Dimensionen: Die Fehler, nach denen sie suchen, messen nur zehntel Millimeter. Diese kleinen Fehler in großen Bauteilen zu finden, ist die zukünftige Herausforderung für die Forscher des Fraunhofer EZRT.

#### **Höchste Qualitätsstandards durch höchste Präzision**

Winzige Haarrisse oder Material-Inhomogenitäten, die mit bloßem Auge kaum wahrnehmbar sind, können in der Luftfahrt verheerende Folgen haben, erklärt Baron: „Wenn Bauteile versagen, die mit mehreren zehntausend Umdrehungen pro Minute rotieren, führt dies unter Umständen zur Explosion eines Triebwerks.“

Seit 27 Jahren fahndet der Maschinenbauingenieur nach kleinen und kleinsten Fehlern. Eine ständige Herausforderung, denn die Spurensuche wird immer anspruchsvoller: Als er seine Karriere begann, galten Fehler von 0,8 Millimeter noch als tolerabel, heute sind es 0,2 Millimeter. Doch seither ist auch viel passiert - am Himmel wie auf Erden: Flugzeugtriebwerke sind dank höherer Drehzahlen und leichter Bauweisen leistungsfähiger geworden, gleichzeitig stehen den Prüfern ganze Arsenalen hochpräziser Hightech-Geräte zur Verfügung. In der Produktion und Instandsetzung werden routinemäßig Röntgen-, Ultraschall- und Thermographie-, Magnetpulver-, Eindring-, Wirbelstrom- und Ätzprüfungen durchgeführt. Gemeinsam ist allen Verfahren, dass sie „zerstörungsfrei“ sind und damit im Material keine Spuren hinterlassen. Das ist gerade in der Luftfahrtindustrie enorm wichtig: Zum einen, weil die Bauteile sehr teuer sind, man möchte sie schon aus rein ökonomischen Gründen nicht zerstören. Zum anderen reicht es nicht, Stichproben zu nehmen, sondern alle Bauteile müssen mit den Prüfverfahren durch den Fertigungsprozess begleitet werden. Nur so lassen sich höchste Qualitätsstandards erreichen.

Diese sind international üblich. Luftfahrtorganisationen wie die European Aviation Safety Agency (EASA) definieren exakt, welche Komponenten wie, wann und von wem untersucht werden



#### ZERSTÖRUNGSFREIES PRÜFEN

- 01 \_\_\_ Diagnose bei der Eindringprüfung.
- 02 \_\_\_ Sichtprüfung mit Lupe und OP-Lampe.
- 03 \_\_\_ Thermographieprüfung einer CF6-Laufschaukel.
- 04 \_\_\_ Prüfung von Titanbillets auf einer Ultraschall-Laboranlage mit Phased Array-Technik.
- 05 \_\_\_ Wirbelstromprüfen einer Fan-Disk.

müssen. Alle Abläufe sind bis ins letzte Detail geregelt – Prüfer verschiedener Levels müssen für die jeweiligen Prozesse zertifiziert sein. „Selbstverständlich erfüllen wir alle gesetzlichen Anforderungen“, berichtet Baron. „Gleichzeitig versuchen wir aber auch, die Abläufe so effizient wie möglich zu gestalten und gegebenenfalls zu automatisieren.“

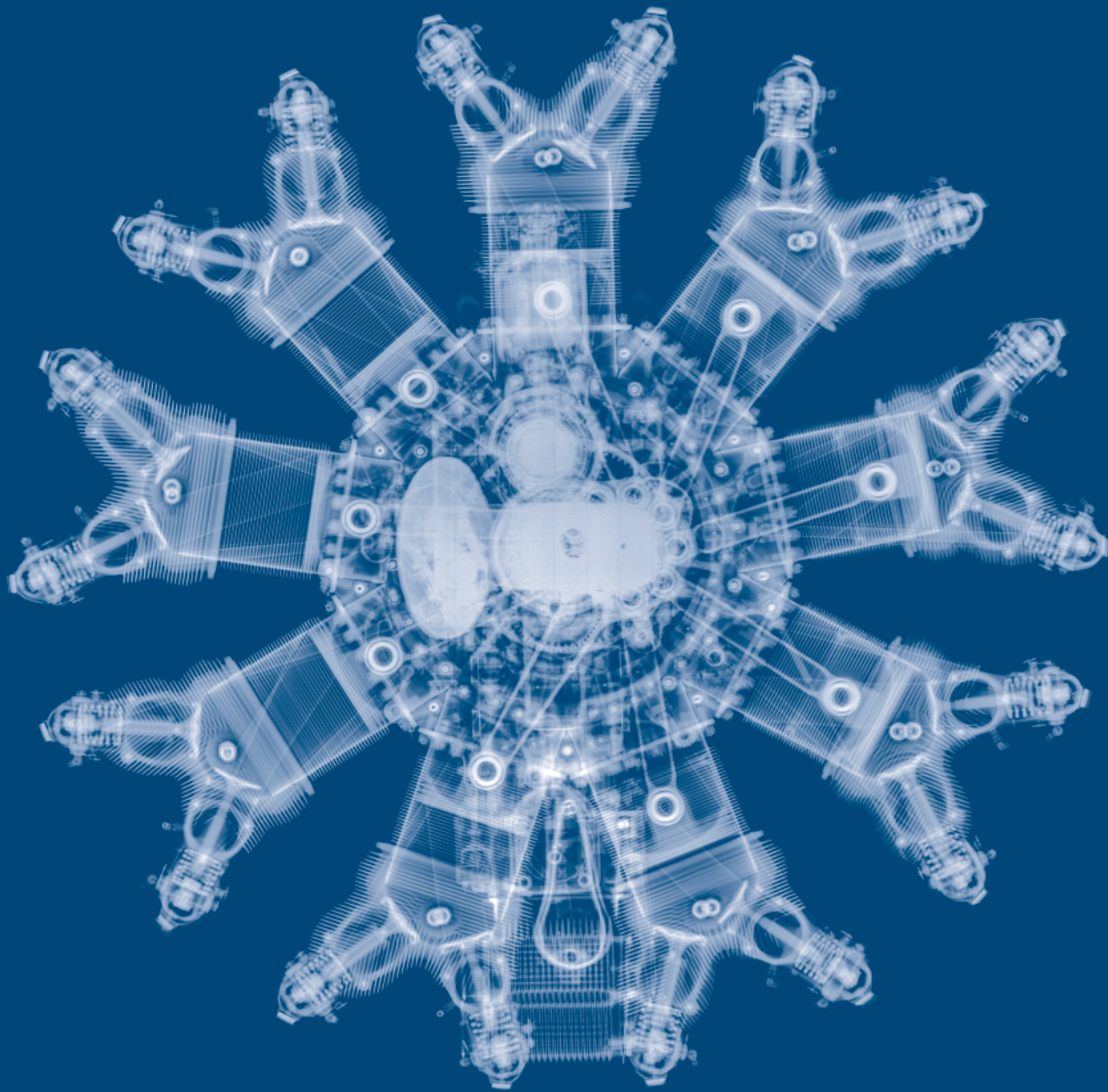
#### Für jede Bauteilklasse das richtige Prüfverfahren

Welche Prüfungen ein Bauteil absolvieren muss, bevor es in der Luftfahrt eingesetzt werden darf, hängt davon ab, welchen potenziellen Schaden es später einmal anrichten kann. Die Konstrukteure unterteilen die verschiedenen Komponenten eines Triebwerks in Klasse 1 bis 3 – wobei die erste Klasse die Teile umfasst, die am gefährlichsten werden können. Eine Turbinenscheibe oder Blisk, die während des Fluges zerfällt, birgt ein hohes Risiko, da abgeplatzte Teile die Tragflächen oder den Rumpf beschädigen können.

Daher müssen Klasse 1-Teile genauer geprüft werden als alle anderen: In den Hallen bei der MTU stehen Anlagen bereit für Ultraschall- und Röntgenuntersuchungen, Eindringstoff- und Wirbelstromprüfung. Die Knochenarbeit machen dabei häufig Roboter: Sie heben schwere Teile, fahren diese zum nächsten Untersuchungsschritt oder rastern mit dem Ultraschallkopf die Oberflächen ab. „Das Messen lässt sich automatisieren, die Auswertung der Daten teilweise auch, aber die Interpretation kann nur ein Prüfer vornehmen. Er hat das letzte Wort“, erklärt Baron.





Die Auflagen für die zweite Bauteilklasse, zu der Turbinenschaufeln und Gehäuse gehören, sind nicht ganz so streng. Routinemäßig durchlaufen die Bauteile Eindringstoff- und Röntgen-Prüfung und teilweise sogar die Röntgen-Computertomographie. Letztere konnten die Ingenieure in den letzten Jahren weitgehend automatisieren: Ein Roboter transportiert die Bauteile ins Innere der Röntgenkammer und sortiert am Ende alle aus, die von der Norm abweichen. Der Prüfer muss nur noch diese inspizieren. In einem weiteren Schritt werden Turbinenschaufeln thermographisch untersucht. Dieses noch relativ neue Verfahren zeigt, ob die Keramikbeschichtungen optimal haften und ob die Kühlkanäle offen sind.

Zur dritten Klasse gehören Verblendungen, Verschlüsse und Befestigungen, die nicht sicherheitsrelevant sind und die im Zweifelsfall bei jedem Routine-Check ausgetauscht werden können. Für diese Bauteile genügt eine Eindringstoffprüfung und eine klassische Sichtprüfung – der müssen sich übrigens auch sämtliche Bauteile der Klassen zwei und drei unterziehen. Die Sichtprüfung ist das einzige Verfahren, das bisher nicht standardisiert wurde, weil die Durchführung abhängig ist von der Person des Prüfers. „Hier erwarten wir in Zukunft die meisten Innovationen, etwa durch digitale Prüfpläne, die die Prozesse vorgeben und bei der Dokumentation helfen“, erläutert Baron. Die Industrie 4.0 habe auch hier begonnen. Doch eine radikale Automatisierung und Optimierung,



**Durchblick** — In der Medizin und in der Materialprüfung werden ähnliche bildgebende Verfahren genutzt: Röntgen, Ultraschall und Computertomographie beispielsweise. Die Bilder eines Strahltriebwerks und eines Sternflugmotors mit neun Zylindern, beides Leihgaben des MTU-Museums, wurden im XXL-Computertomographen am Fraunhofer Entwicklungszentrum Röntgentechnik erstellt. Die Position der Bauteile ist darauf exakt zu erkennen.


**ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFVERFAHREN FÜR DIE TRIEBWERKSINDUSTRIE IM ÜBERBLICK**






Name des Verfahrens	 <b>Ultraschallprüfung</b>	 <b>Eindringstoffprüfung</b>	 <b>Ätztechnik</b>	 <b>Wirbelstromprüfung</b>
<i>Wie es funktioniert</i>	Mit Hilfe von Schallwellen werden Fremdkörpereinschlüsse, Poren und Risse sichtbar: Weil die Ausbreitung der Schallwellen von der Dichte des Materials abhängt, lässt sich anhand der Signale, die den Werkstoff durchlaufen haben, feststellen, ob er homogen ist.	Fluoreszierender Farbstoff macht Oberflächenporen und Risse sichtbar: Bauteile werden nacheinander in farbpigmenthaltiges Öl getaucht, herausgehoben, gereinigt, mit Entwickler eingesprüht, und mit UV-Licht beleuchtet.	Oberflächen werden chemisch angeätzt. Die optischen Veränderungen, die dabei auftreten, sind materialabhängig.	Durch Induktionsänderungen eines elektrischen Feldes werden Inhomogenitäten sichtbar.
<i>Auflösung</i>	Auflösung ab 0,4 mm, Prüftiefe bis 20 cm.	Fehler ab 0,2 mm nachweisbar.	Auflösung ab 0,2 mm.	Auflösung ab 0,2 mm.
<i>Anwendungen</i>	Untersuchung der Fehlerfreiheit des Grundwerkstoffs.	Rissprüfung.	Aufspürung von chemischen Inhomogenitäten.	Rissprüfung.
<i>Anwendung in der Triebwerksindustrie</i>	<b>Scheiben und Blisks der Bauteilkategorie 1.</b>	<b>Alle Bauteilklassen.</b>	<b>Scheiben und Blisks der Bauteilkategorie 1.</b>	<b>Bohrungen in Scheiben und Gehäusen der Bauteilkategorien 1 und 2.</b>

wie sie beispielsweise in der Automobilbranche üblich sei, werde es wegen der hohen Anforderungen in der Luftfahrtindustrie so bald nicht geben.

**Fehlerfreiheit? Nur eine Frage des Blickwinkels**

Wie es weitergeht? „Der Trend zu immer geringeren Fehlertoleranzen dauert an“, weiß Baron. Gleichzeitig schreite die Automatisierung voran. Immer genauer, immer schneller. Dipl.-Ing. Steffen Bessert vom Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren (IZFP) beschreibt den Stand der Forschung: „Die Entwicklung geht derzeit in Richtung Thermographie mit aktiver Anregung, weil diese berührungslos ist und automatisierbar. Kleinste Fehler werden auch zunehmend mit CT aufgespürt, die man immer mehr mit CAD-Konstruktionszeichnungen korreliert. So können Prüfer und Konstrukteure in Zukunft Fehler noch genauer lokalisieren und zuordnen.“

Bis es irgendwann keine Fehler mehr gibt? „Hundertprozentige Fehlerfreiheit lässt sich aus technischen Gründen wohl leider nie erreichen“, weiß Baron. „Doch die Möglichkeit des zuverlässigen Nachweises immer kleinerer Fehler wird weiter zunehmen.“ 

 <i>Magnetpulverprüfung</i>	 <i>Sichtprüfung</i>	 <i>Röntgen</i>	 <i>Röntgen CT</i>	 <i>Thermographieprüfung</i>
Magnetische Partikel zeigen Störungen im Magnetfeld an: Wird ein metallisches Bauteil magnetisiert, so richten sich die Partikel parallel der Feldlinien aus. Risse im Bauteil stören die Homogenität des Feldes – die Partikel machen dies sichtbar.	Prüfer inspiziert Bauteile.	Durchstrahlung der Bauteile ermöglicht zweidimensionale Aufnahmen. Fehler im Inneren der Bauteile werden so sichtbar.	Bauteile werden in einem Röntgenscanner gedreht und die Strahlung nach dem Durchgang detektiert. Die Summe der Aufnahmen ergibt ein 3D-Bild. Die dreidimensionalen Aufnahmen erlauben einen Blick ins Innere der Bauteile und machen winzige Defekte, wie sie zum Beispiel beim Bohren von Kühlkanälen in den Turbinenschaufeln auftreten können, sichtbar.	Messung der Wärme, die sich in einem Bauteil ausbreitet: Erzeugt wird diese durch zwei Blitzlampen, die das Bauteil bestrahlen. Eine Kamera detektiert, wieviel Wärme abfließt. Unregelmäßigkeiten im Wärmeabfluss deuten auf schlechte Verbindung zwischen Bauteil und Beschichtung hin.
Auflösung 0,2 mm.	Auflösung ohne Lupe ab 0,2 mm.	Auflösung ab 0,2 mm, wandstärkenabhängig.	Auflösung ab 0,1 mm, wandstärkenabhängig.	Auflösung ab 0,5 mm, abhängig vom Abstand zur Oberfläche.
Untersuchung von magnetisierbaren Stahlbauteilen.	Prüfung aller Bauteile.	Aufspürung von Fremdkörpereinschlüssen und Poren.	Messung von Wandstärken und Innen-Geometrien, z. B. Rückwand-Anbohrungen, die beim Laserbohren auftreten können.	Prüfung der Verbindung zwischen Metall und Keramik. Noch relativ neues Verfahren.
Alle magnetisierbaren Bauteile. Speziell eingesetzt in der Instandhaltung älterer Triebwerke mit Stahlkomponenten aller Bauteilklassen.	Alle Bauteilklassen.	Guss-Bauteile, Schweißnähte, Turbinenschaufeln mit Kühlkanälen der Bauteilklassen 1 und 2.	Turbinenschaufeln mit Kühlkanälen und Verbundwerkstoffe der Bauteilklassen 1 und 2.	Wärmedämmschichten auf Gehäusen und Turbinenschaufeln sowie Einlaufbeläge der Bauteilklassen 1 und 2.



Fragen, Wünsche, Anregungen? Hier erreichen Sie die Redaktion:  
[aeroreport@mtu.de](mailto:aeroreport@mtu.de)



Mehr zum Thema: [www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)



Autorin:

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

## Blackbird wird 50

### Legendäre Lockheed SR-71 hält weiter den Weltrekord

Der Flieger wirkt wie aus der Werkstatt von James Bonds „Q“ und stammt aus der gleichen Zeit: Die Lockheed SR-71 „Blackbird“ absolvierte ihren Erstflug im **Dezember 1964** und trat im **Januar 1966** in den Dienst der U.S. Air Force. Sie war im Auftrag der CIA in der legendären Geheimabteilung „Lockheed Advanced Development Projects Unit“, besser bekannt als „Skunk Works“, entwickelt worden. Nur **32 Stück** des Tarnkappen-Aufklärers wurden gebaut. Seit 1976 bis heute hält sie mit **3.529,6 Stundenkilometern**, knapp **Mach 3,2**, den Weltrekord als schnellstes luftatmendes bemanntes Flugzeug. Entdeckung oder Bedrohung entging die „Blackbird“, indem sie einfach beschleunigte und höher stieg, bis auf eine Dienstgipfelhöhe von **25 Kilometern**. Die USA überquerte sie in knapp **70 Minuten**.

Nicht nur das Flugzeugdesign war revolutionär, auch die verwendeten Materialien: Die Zelle bestand zu **85 Prozent aus Titan**, für den Rest wurden unter anderem Polymer-Verbundwerkstoffe eingesetzt. Für Tarnung sorgten die außergewöhnlichen Formen



des Flugzeugs ebenso wie etwa die Beimischung von Cäsium zum Treibstoff, das das Radarecho des Abgasstrahls veränderte.

Angetrieben wurde die SR-71 von zwei **JT11D-20-Turbostrahltriebwerken** von Pratt & Whitney (militärische Bezeichnung **J58**) mit Staustrahlfunktion. Dabei wurde ein Teil der einströmenden

Luft in sechs Rohren am Verdichter vorbei direkt in den Nachbrenner geleitet, was den Wirkungsgrad erhöhte.

Nur **86 sorgfältig ausgewählte Piloten** durften den Zweisitzer fliegen; der zweite Mann an Bord war ein Aufklärungsoffizier, der fotografierte und filmte, vorzugsweise hinter dem Eisernen Vorhang. Der letzte Flug einer SR-71, inzwischen im Einsatz bei der NASA, fand am **9. Oktober 1999** statt. Seither kann man das futuristisch wirkende Flugzeug auch heute noch in einigen Luftfahrtmuseen bestaunen, darunter im Imperial War Museum in Duxford/Großbritannien und im Smithsonian Institute in Washington/D.C.

## Luftfahrt in Zahlen

**3,5 Milliarden** Passagiere werden die Airlines der Welt 2015 transportieren. Das sind ...

**9,6 Millionen** pro Tag, mehr als im ganzen Jahr 1945, dem Gründungsjahr der Zivilluftfahrtorganisation IATA.

**Mehr als ein Drittel** des Welthandelsvolumens nach Wert wird per Luftfracht transportiert. Und die zivile Luftfahrt sorgt für ...

**58 Millionen** Jobs weltweit, wenn man die Arbeitsplätze einbezieht, die durch den Flugtourismus entstehen.



## Luxus in der Luft



### Großraumflugzeuge mit Sonderausstattung

Welchen Luxus sich wohlhabende Kunden im Privatflugzeug leisten, bleibt der Öffentlichkeit meist verborgen. Die Hersteller behandeln das Thema verständlicherweise mit äußerster Diskretion. Wir haben trotzdem einige Trends zusammengetragen, aus einer Welt, von der selbst First-Class-Passagiere nur träumen können. Nicht etwa kleine Privatmaschinen sind bei den VVIPs gefragt, sondern Großraumjets wie die Airbus A380. Längst zum Standard gehören neben **vergoldeten Waschbecken** auch **Saunalandschaft** und **Whirlpool** – wobei Überlaufkanäle bei unruhigem Flug dafür sorgen, dass das Wasser im Pool bleibt. Ebenfalls beliebt ist der private **Gebetsraum mit elektrisch verstellbarem Gebetsteppich**, der sich während des Fluges gen Mekka ausrichtet. Bei Airbus wurde 2007 eine A380 in Auftrag gegeben, die über einen eigenen **Konzertsaal** verfügen sollte. Ein **gläserner Aufzug** sollte vom Rollfeld in die Gemächer auf **330m<sup>2</sup> Fläche** führen. Obwohl dieser Auftrag nicht zustande kam, ist der Markt für Luxusausstattungen definitiv vorhanden. Der Preis für die individuelle Sonderausstattung der Kabine liegt dabei im **dreistelligen Millionenbereich**.



# Schneller arbeiten und leichter fliegen

## Elektronischer Pilotenkoffer



**1 Tablet-PC** statt 1 Koffer

**354g** statt 15kg

Ein lederner Pilotenkoffer mit Trolleyfunktion allein wiegt bereits bis zu 5 kg; beladen mit Handbüchern, Tabellen und Karten kann er bis zu 15 kg wiegen.

**64 GB** statt 4.267.000 Seiten

Ein neues iPad etwa verfügt über eine Speicherkapazität von bis zu 64 GB. Das entspricht einer Datenmenge von etwas mehr als vier Millionen Seiten in Word.

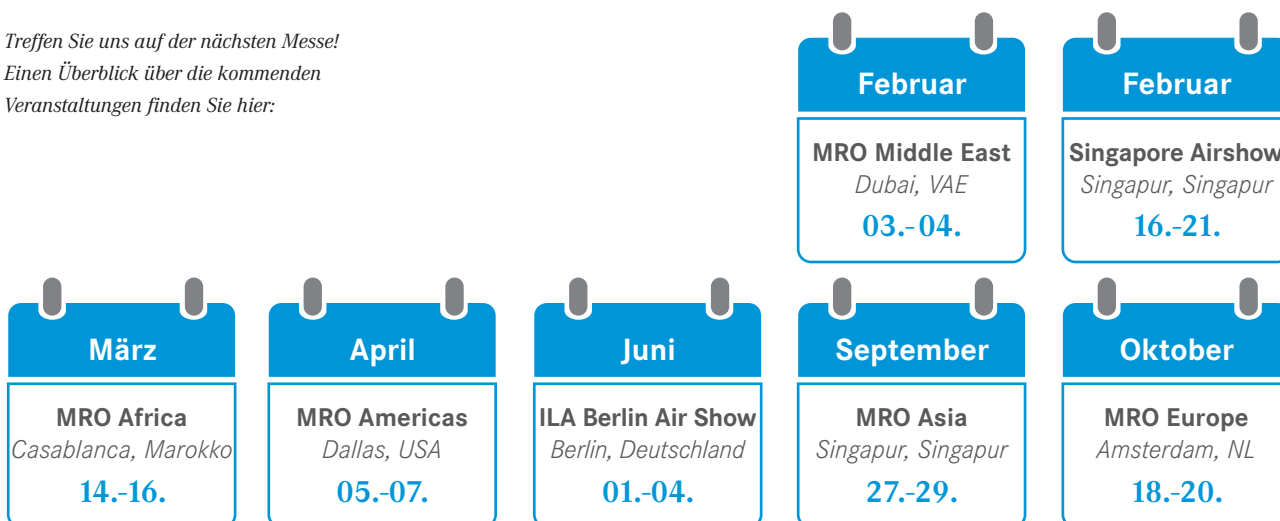


Große dunkle Pilotenkoffer gehörten in der Luftfahrt jahrzehntelang zum Alltag. Darin verstaut waren Tabellen für Performance-Berechnungen, unzählige Navigationskarten, Betriebshandbücher der Flugzeuge sowie andere wichtige Dokumente. Kurz: alles, was Piloten im Cockpit zum Fliegen brauchten und schnell zur Hand sein musste. Doch die Koffer werden seltener. Immer mehr Airlines steigen auf elektronische Pilotenkoffer in Form

von Tablets um, sogenannte Electronic Flight Bags. Modifizierte handelsübliche Geräte sind dabei ebenso im Einsatz wie speziell angefertigte. Höhere Informationsqualität und eine schnellere Verarbeitungsgeschwindigkeit sind die Hauptgründe für den Einsatz. Willkommener Nebeneffekt: das Gewicht. Denn bei den Handbüchern, Karten und Dokumenten kommen schnell einige Kilos zusammen.

## Messetermine 2016

Treffen Sie uns auf der nächsten Messe!  
Einen Überblick über die kommenden  
Veranstaltungen finden Sie hier:



# Gestern & heute: Cockpit

Nur rund drei Jahrzehnte liegen zwischen diesen beiden Aufnahmen, und doch wird deutlich, welche Entwicklung die Gestaltung des Piloten-Arbeitsplatz in diesem kurzen Zeitraum genommen hat. Das seinerzeit hochmoderne Cockpit der A310 (oben) wirkt hoffnungslos altmodisch im Vergleich zu dem der A350 (unten).

gestern



COCKPIT DER A310 (CA. 1985)

**01** \_\_\_\_\_ Vergleichsweise kleine, quadratische Kathodenstrahlröhren-Bildschirme (CRT) zur Darstellung des Flugzustands (Primary Flight Display) und des Flugwegs (Navigation Display).

**02** \_\_\_\_\_ Klassische „Uhreninstrumente“ zur Darstellung wichtiger Parameter und als Backup für die Bildschirme.

**03** \_\_\_\_\_ Klassisches Steuerhorn mit direkter Verbindung zu Höhen- und Querruder.

**04** \_\_\_\_\_ „Flight Management System“ (FMS): Kleiner einfarbiger Bildschirm, Bedienung über Tastatur.

heute



COCKPIT DER A350 (2015)

**05** \_\_\_\_\_ „Onboard Information System“ (OIS): Elektronische Darstellung von Kartenmaterial und Checklisten.

**06** \_\_\_\_\_ PFD und ND sind nun nebeneinander auf einem großen Flüssigkristallbildschirm (LCD) angeordnet und enthalten zahlreiche zusätzliche Informationen (z. B. ein Vertikalschnitt durch den Flugweg).

**07** \_\_\_\_\_ Elektronische Backup-Systeme (ebenfalls als Bildschirme) für essenzielle Anzeigen.

**08** \_\_\_\_\_ „Flight Management System“ (FMS): Großer farbiger Bildschirm, Bedienung über grafische Benutzeroberfläche mittels „Computermaus“.

**09** \_\_\_\_\_ Sidestick, dessen Eingaben nach Überprüfung durch den Bordcomputer elektronisch an die Ruder übermittelt werden.

# Nonstop

## Die fünf längsten Linienflüge der Welt



Mehr als 16 Stunden nonstop in der Luft – für eine Strecke von 10.000 Kilometern. Das entspricht einem Viertel des Erdumfangs. Wer da mitfliegt, braucht viel Geduld. Wir haben die Top 5 der aktuellen Ultra-Langstreckenflüge zusammengestellt:

	Abflug/Ankunft	Distanz	Flugzeit	Flugzeugtyp	Airline
1	Dubai Panama City	13.821 km	17:35 Stunden	Boeing 777-200LR	Emirates (ab 02/2016)
2	Johannesburg Atlanta	13.582 km	16:52 Stunden	Boeing 777-200LR	Delta Airlines
3	Dallas Hongkong	13.073 km	16:50 Stunden	Boeing 777-300ER	American Airlines
4	Jeddah Los Angeles	13.409 km	16:40 Stunden	Boeing 777-300ER	Saudia
5	Abu Dhabi Los Angeles	13.502 km	16:35 Stunden	Boeing 777-200LR	Etihad Airways

### AEROREPORT 02|15

#### Herausgeber

MTU Aero Engines AG  
 Eckhard Zanger  
 Leiter Unternehmenskommunikation  
 und Public Affairs

#### Redaktionsleitung

Dongyun Yang

#### Chefredaktion

Eleonore Fähling

#### Printumsetzung

Antje Endter

#### Onlineumsetzung

Patricia Hebbing

#### Anschrift

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

#### Autoren

Anja Dörr, Eleonore Fähling, Achim Figgen,  
 Silke Hansen, Andreas Spaeth,  
 Thorsten Rienth, Patrick Hoeveler,  
 Monika Weiner

#### Layout

SPARKS Advertising, München  
 www.sparks.de

#### Bildnachweis

Titel plainpicture/Aviation  
 2 Airbus SAS  
 6\_7 MTU Aero Engines; Air Canada;  
 GE Aviation  
 8\_9 Ding Shen  
 12\_13 MTU Aero Engines; Airbus SAS; Jerrold;  
 Stephan Roehrich; Augusto Gomez Rojas;  
 Alex Christie; OSDU; Szabo Gabor; flickr;  
 Marcel Hohl; Konstantin von Wendelstaedt  
 14\_15 MTU Aero Engines; Airbus SAS  
 16\_17 Shutterstock; MTU Aero Engines  
 19 Atlas Air; AeroLogic GmbH; Warner Music  
 21 Atlas Air  
 23 MTU Aero Engines  
 24\_29 Andreas Spaeth  
 30\_33 Morris, EOS GmbH; MTU Aero Engines;  
 3T RPD Ltd/The SAVING Project  
 34\_39 MTU Aero Engines  
 41 MTU Aero Engines  
 42\_47 MTU Aero Engines; Shutterstock  
 48\_52 flickr; Reiner Heim Design /  
 Lufthansa Technik AG;  
 Etihad / Four Communications;  
 Airbus SAS; Shutterstock;  
 Sascha Kretschmer; Singapore Airlines

#### Druck

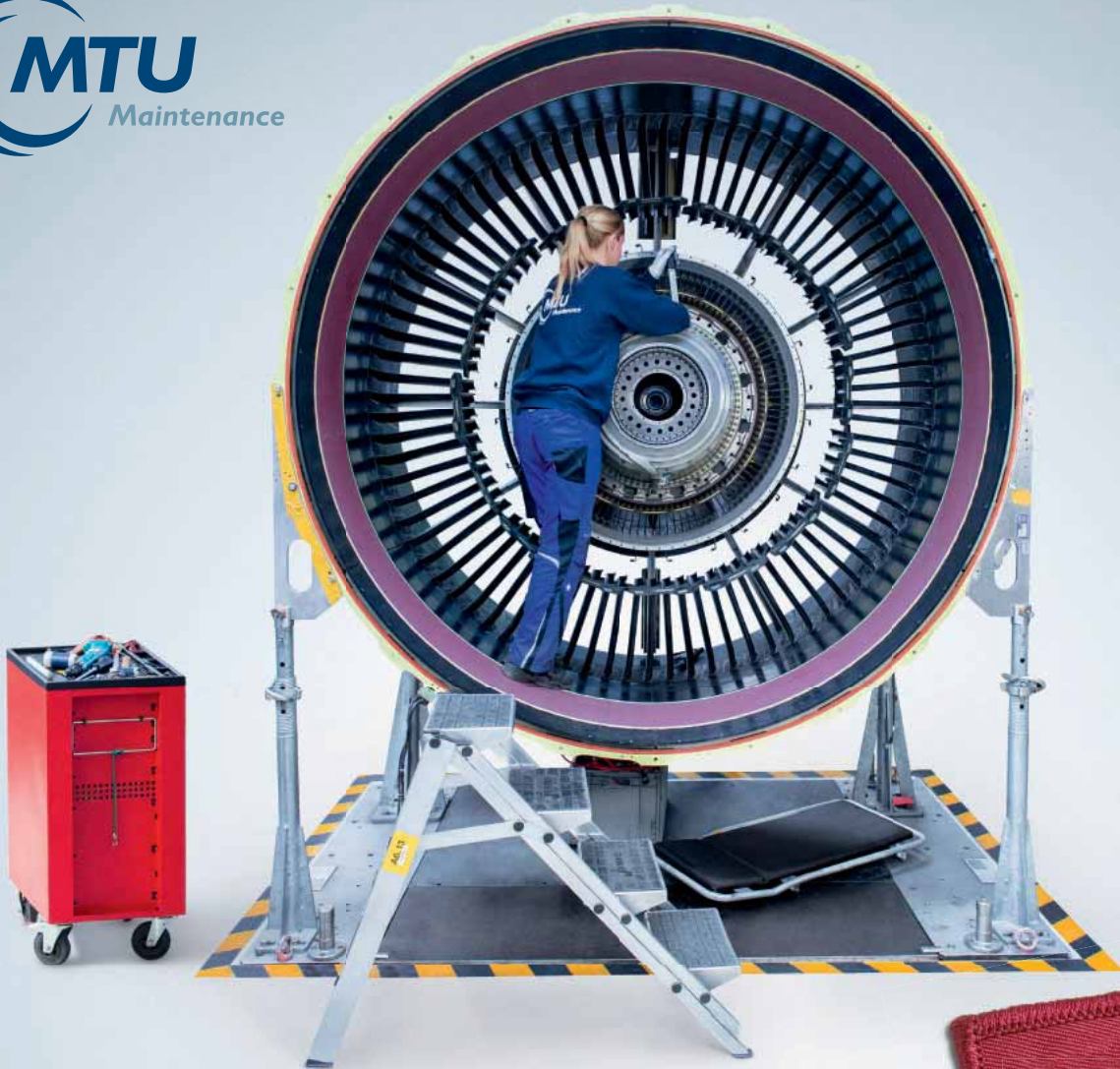
EBERL PRINT GmbH, Immenstadt

#### Online

ADVERMA  
 Advertising und Marketing GmbH, Rohrbach

Texte mit Autorenervermerk 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.

Geared Turbofan™ ist eine angemeldete Marke von Pratt & Whitney.

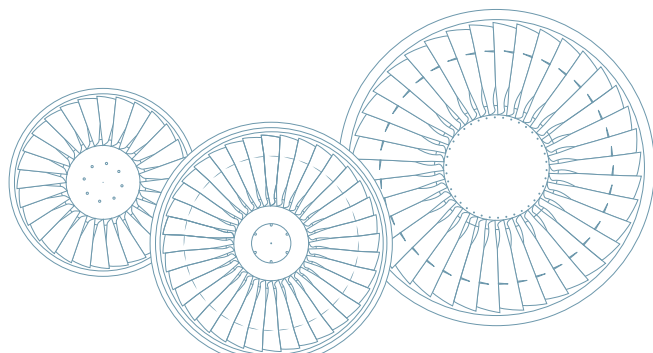


Reach us at  
[mm@mtu-lease-services.com](mailto:mm@mtu-lease-services.com)

# More asset value

With MTU<sup>Plus</sup> Asset Value Maximization you can earn money with your engine when you no longer expect it to. Our in-depth market expertise in engine MRO and leasing enables us to define the exact value of your assets, to extend its service life or to tailor a smooth exit strategy while you benefit from an increased revenue stream – from lease-out options, sale and exchange solutions to professional teardown and material management. MTU Maintenance – We offer more.

[www.mtu.de](http://www.mtu.de)





**AEROREPORT**

MTU Aero Engines AG, Dachauer Straße 665, 80995 München, Deutschland  
aeroreport@mtu.de, [www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)