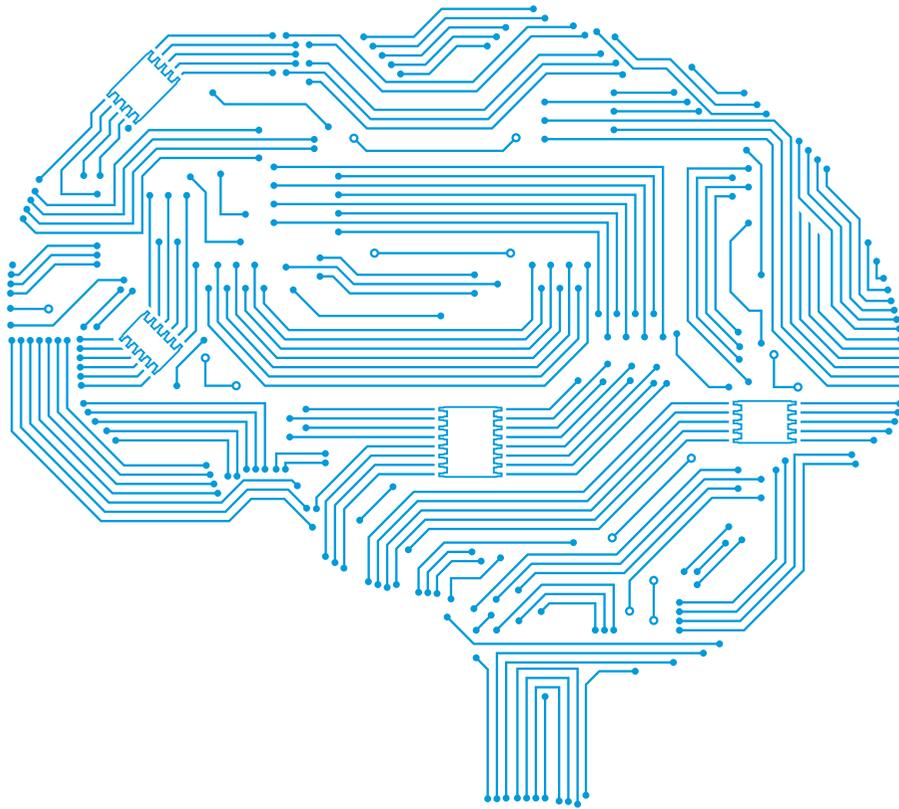


# AEROREPORT 01|16

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



## Die Zukunft ist digital

*Intelligente Fabrikation in der Luftfahrtindustrie*

### MARKET

Kettenreaktionen  
*Supply Chain im  
Triebwerksbau*

### EXPERTISE

Zwischen zwei Welten  
*Prof. Mirko Hornung vom  
Bauhaus Luftfahrt im Gespräch*

### TECHNOLOGY

Mausklick statt Trial and Error  
*Simulation in Entwicklung  
und Fertigung*



**Menschenleer** — Die Drehfräsmaschinen in der Blikproduktionshalle bei der MTU in München werden automatisch bestückt und laufen intelligent gesteuert durch. Wenige Mitarbeiter überwachen die Prozesse.

*Liebe Leserinnen, liebe Leser,*

werfen wir einen Blick zurück ins Jahr 2000: SMS auf Tastenhandys mit Monochrom-Displays waren State-of-the-art. In Fahrzeugen begannen sich tragbare GPS-Navigationssysteme durchzusetzen, und Desktop-Computer mit Röhrenbildschirmen waren Standard auf dem Schreibtisch. All diese und sehr viel weitreichendere Funktionen vereinigt heute ein Smartphone in einem knapp zweihundert Gramm leichten Gerät. Das hätte kaum jemand sich vorzustellen gewagt.

Innovation braucht Treiber: Waren es in der Kommunikationstechnologie die Konsumenten, die immer kleinere, leichtere und multifunktionalere Geräte forderten, so sind es in der Luftfahrtbranche die Gesellschaft, die eine immer höhere Umweltverträglichkeit fordert, und die Airlines, die ihren wachsenden Kostendruck als Forderung nach höheren Wirkungsgraden an die Hersteller von Flugzeugen und Triebwerken weitergeben. Innovation braucht neben viel Vorstellungskraft auch Ausdauer: Wegen der hohen Sicherheitsanforderungen und der entsprechend anspruchsvollen Technologie dauern Innovationszyklen in der Luftfahrtindustrie wesentlich länger als in anderen Branchen. Was heute angedacht wird, ist frühestens fünfzehn Jahre später in Triebwerken zu finden.

Um das Jahr 2000 herum haben Pratt & Whitney und die MTU Aero Engines mit der Entwicklung des Getriebefan-Antriebs begonnen, der Anfang dieses Jahres als PW1100G-JM an der A320neo bei Lufthansa in den Liniendienst gegangen ist. Die Idee, Fan und Turbine mit einem Getriebe zu verbinden, um die Laufgeschwindigkeiten der Komponenten zu optimieren, war auch damals nicht neu, doch erst die Entwicklung neuer Technologien, Werkstoffe, Auslegungs- und Fertigungsverfahren haben den Einsatz der Getriebefantechnologie für den Linienbetrieb ermöglicht.

Heute arbeiten wir bei der MTU zusammen mit unseren Partnern in Industrie und Forschung an weiteren Verbesserungen für Getriebefan-Triebwerke, um zum Beispiel mit genaueren Auslegungsverfahren, leichteren Werkstoffen und Beschichtungen die Emissionen zu verringern. Wir beschäftigen uns mit Technologien, die die Entwicklung beschleunigen und kostengünstiger machen, etwa durch Simulation und mit innovativen Fertigungsverfahren wie der additiven Fertigung, die bionisches Design möglich machen. Dass die nächste Generation von Flugzeugen in fünfzehn Jahren gläserne Kabinen hat oder weitgehend elektrisch fliegen wird, halte ich für eher unwahrscheinlich. Aber ihre Antriebe werden deutlich effizienter sein als heute, um die prognostizierten Zuwächse in der Luftfahrt mit der geforderten Ökoeffizienz zu bewältigen.

Viel Spaß bei unserer **AEROREPORT**-Entdeckungsreise durch Innovationen in der Luftfahrt wünscht Ihnen



Ihr

*R. Martens*

Dr. Rainer Martens

Vorstand Technik, MTU Aero Engines AG



**COVER STORY**

## Die Zukunft ist digital

Industrie 4.0 oder auch Internet of Things – das Thema ist in aller Munde. Die zunehmende Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft verändert auch die Produktion: die vierte industrielle Revolution. Was steckt dahinter und was kann sie für die Luftfahrtindustrie bedeuten?

---

Seite 8



**MARKET**

## Kettenreaktionen

Supply Chain im Triebwerksbau: Am Beispiel des PW1500G, des Antriebs für die Bombardier CSeries, zeigt der **AEROREPORT** den weltweiten Weg von der Rohstoffgewinnung über die Herstellung von Bauteilen, die Montage von Modulen und den Zusammenbau des Triebwerks bis zum Einbau in das Flugzeug.

---

Seite 16



**PARTNERS**

## LATAM – ganz Lateinamerika aus einer Hand

LAN und TAM, zwei der traditionsreichsten Airlines des Subkontinents und langjährige MTU-Kunden, treten nach ihrer Fusion unter der neuen Marke LATAM auf. Mit rund 30 Prozent Marktanteil bei Flügen innerhalb sowie von und nach Lateinamerika gehört sie zu den zehn größten Airline-Gruppen der Welt.

---

Seite 24

# CONTENTS

**NEWS**

- 6 **Instandhaltung kann starten** Luftfahrtbehörden erteilen PW1100G-JM Zulassung
- 6 **E2-Jet rollt aus dem Hangar** Premiere für den brasilianischen Regionaljet mit neuem Antrieb
- 6 **F&E-Center für Turbomaschinen** Fraunhofer-Institute und RWTH Aachen arbeiten zusammen
- 7 **„Go!“ für CSeries** Luftfahrtbehörden zertifizieren Flugzeug und Triebwerk
- 7 **GE9X: zweites Testmodul in Arbeit** Design weiter optimiert
- 7 **Erneutes Rekordergebnis** MTU-Bilanz 2015: Ergebnisplus in allen Geschäftsbereichen

**COVER STORY**

- 8 **Die Zukunft ist digital** Intelligente Fabrikation in der Luftfahrtindustrie

**MARKET**

- 16 **Kettenreaktionen** Supply Chain im Triebwerksbau: die weltweite Wertschöpfung am Beispiel des PW1500G für die neue CSeries
- 20 **Aus drei mach eins** Wertschöpfung bei Triebwerken am Ende ihres Einsatzlebens

**PARTNERS**

- 24 **LATAM – ganz Lateinamerika aus einer Hand** LAN und TAM, zwei der traditionsreichsten Airlines Südamerikas, sind langjährige MTU-Kunden
- 30 **Zusammen hochlaufen** GF Machining Solutions GmbH: Schweizer Präzision für die Bliskfertigung bei der MTU Aero Engines

**PARTNERS**

## Zusammen hochlaufen

GF Machining Solutions GmbH, Tochter der Schweizer Georg Fischer AG, liefert Spezial-Fräsmaschinen für die Bliskfertigung bei der MTU Aero Engines und gehört zu den weltweit führenden Lieferanten für den Werkzeug- und Formenbau.

---

Seite 30

---

**EXPERTISE**

## Zwischen zwei Welten

Um die Zukunft der Luftfahrt vorzusehen, brauche es Kreativität und Fantasie, zugleich wissenschaftliche Genauigkeit, sagt Prof. Mirko Hornung vom Bauhaus Luftfahrt. Im **AEROREPORT**-Interview beschreibt der Professor für Luftfahrtsysteme, welche Themen die Branche in den kommenden Jahrzehnten bestimmen werden.

---

Seite 34

---

**TECHNOLOGY**

## Mausklick statt Trial and Error

Simulationsverfahren verändern Entwicklung und Fertigung. Virtuelle Erprobung beschleunigt Entwicklungsprozesse; numerische Simulationen werden Schlüsseltechnologie auch in der Luftfahrtindustrie. Forschung und Unternehmen arbeiten dabei eng zusammen.

---

Seite 42

---

**EXPERTISE**

34 **Zwischen zwei Welten** Prof. Dr.-Ing. Mirko Hornung vom Bauhaus Luftfahrt über die Themen der Luftfahrtbranche in den kommenden Jahrzehnten

**TECHNOLOGY**

42 **Mausklick statt Trial and Error** Simulationsverfahren verändern Entwicklung und Produktion – auch in der Luftfahrtindustrie  
 48 **Flexibel und stabil** Moderne Produktionssteuerung bei der MTU Maintenance aus der Sicht eines Trainees

**FACTS**

50 **100 Jahre Boeing und die MTU**  
 Meilensteine zweier erfolgreicher Unternehmen  
 51 **Patente der MTU** Additive Fertigung  
 51 **Ausbau der Marktposition** MTU Maintenance in Zahlen  
 52 **Gewinnspiel**  
 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.

## Instandhaltung kann starten

Die MTU Maintenance Hannover hat vom Luftfahrtbundesamt (LBA) die Zulassung für die Instandhaltung des Getriebefan-Triebwerks **PW1100G-JM** für die **Airbus A320neo** erhalten. Diese Zulassung ist auch für die europäische Behörde EASA (European Aviation Safety Agency) gültig und wird – wegen bestehender bilateraler Vereinbarungen – von der amerikanischen Luftfahrtbehörde FAA (Federal Aviation Administration) sowie von der kanadischen TCCA anerkannt. Im nächsten Schritt erfolgen die Zulassungen für weitere Länder wie Indien, China und das Emirat Katar.



## E2-Jet rollt aus dem Hangar

Mit spritsparendem höheren Nebenstromverhältnis bei den neuen **PW1900G-Triebwerken** präsentierte sich die nächste Generation der E-Jets von Embraer im Frühjahr erstmals der Öffentlichkeit. Fast wuchtig wirken die Triebwerke mit den vergrößerten Fans neben dem schlanken Flugzeugrumpf. Die Triebwerke sind nicht die einzige Neuerung: Aerodynamisch verbesserte Flügel, eine modernere Fly-by-Wire-Steuerung und weitere überarbeitete Systeme sollen mit zur Reduzierung von Treibstoffverbrauch, Abgasen und



Lärm beitragen. Erhöht wurde zudem die Reichweite gegenüber den bisherigen E-Jets, mit denen der brasilianische Hersteller nach eigenen Angaben einen Marktanteil von mehr als 50 Prozent in diesem Segment hält. Der Erstflug der **E190-E2** soll noch in diesem Jahr erfolgen, der Entry Into

Service ist für 2018 geplant. Zur E2-Familie gehören außerdem die **E175-E2** und die **E195-E2**, die ebenfalls exklusiv mit PW1000G-Triebwerken fliegen werden. Je nach Konfiguration sind die E2-Jets für 80 bis 132 Passagiere ausgelegt.

## F&E-Center für Turbomaschinen

Ein neues Forschungs- und Entwicklungszentrum für den Turbomaschinenbau soll die Innovation künftig beschleunigen. Die Fraunhofer Institute für Produktionstechnologie (IPT) und Lasertechnik (ILT) sowie das Werkzeugmaschinenlabor (WZL) und der Lehrstuhl für Lasertechnik (LLT) der RWTH Aachen haben mit renommierten Industriepartnern das „**ICTM – International Center for Turbomachinery Manufacturing**“ ins Leben gerufen. Im Fokus steht die Forschung rund um die Reparatur und Herstellung von Turbomaschinen.

„Das ICTM bringt Fachleute zusammen, bündelt Kräfte und sorgt für exzellente vorwettbewerbliche Forschung“, erklärt Prof. Fritz Klocke, Direktor des Fraunhofer IPT und Leiter des Lehrstuhls für Technologie der Fertigungsverfahren an der RWTH Aachen. Das Netzwerk, an dem sich neben 18 weiteren Industrieunternehmen auch die MTU Aero Engines beteiligt, will zum Beispiel die Zerspanprozesse beim Einsatz von Vollkeramik-Werkzeugen und die Endbearbeitung von additiv gefertigten Bauteilen optimieren.

## „Go!“ für CSeries

Bereits im Dezember hat die kanadische Luftfahrtbehörde Transport Canada Civil Aviation der **CSeries CS100** die Zulassung erteilt; die beiden weltweit größten Zulassungsbehörden FAA (Federal Aviation Administration) und EASA (European Aviation Safety Agency) gaben ihre Zustimmung wenig später. Die erste Linienmaschine des neu entwickelten Kurz- und Mittelstreckenfliegers mit bis zu 125 Sitzplätzen soll in diesem Jahr bei der Swiss in den Dienst gehen.



Die CS100 und ihre große Schwester CS300 mit Platz für bis zu 160 Passagiere fliegen exklusiv mit **PW1500G**-Getriebe-

fan-Triebwerken, an denen die MTU Aero Engines mit 17 Prozent beteiligt ist (siehe auch Infografik ab S. 16).

## GE9X: zweites Testmodul in Arbeit



Während Anfang des Jahres bei der MTU Aero Engines noch feierlich die letzte Schraube am Turbine Center Frame (TCF) für das erste **GE9X-Testtriebwerk** angezogen wurde, begannen die MTUler bereits mit den Arbeiten am nächsten Modul für SETT (Second Engine To Test), das zweite Testtriebwerk. „Nach dem Design-Freeze für FETT (First Engine To Test) hörte die Entwicklung natürlich nicht auf“, sagt der bei der MTU für GE9X zuständige Programmleiter Dieter-Eduard Wolf. Weitere Verbesserungen wurden umgesetzt, das Design weiter optimiert. Auch für die Triebwerksprogramme GP7000 für die Airbus A380 sowie GEnx für die Boeing 787 und 747-8 liefert die MTU den TCF. Wegen der Größe des Bauteils und wegen des Umfangs der Entwicklungsverantwortung ist die Beteiligung am GE9X für die neue **Boeing 777X** dennoch eine Premiere.

## Erneutes Rekordergebnis

Im **Geschäftsjahr 2015** konnte die **MTU Aero Engines AG** einmal mehr die Ergebnisprognosen übertreffen und Umsatz sowie Ergebnis steigern: Der Umsatz legte im Vergleich zum Vorjahr um 13, das operative Ergebnis um 15

Prozent zu. Am meisten gewann der Geschäftsbereich zivile Instandhaltung mit einem Plus von 22 Prozent, gefolgt vom zivilen Triebwerksgeschäft mit 14 Prozent Zuwachs. Auch der Auftragsbestand stieg um rund 12 Prozent. „Das entspricht

einer Produktionsreichweite von rund drei Jahren“, so Vorstandsvorsitzender Reiner Winkler bei der Jahres-Pressekonferenz der MTU in München.



# Die Zukunft ist digital

*Intelligente Fabrikation in der Luftfahrtindustrie.*

**Autorin:** *Silke Hansen*

**Das Thema ist in aller Munde, überall, in Deutschland, in den USA, sogar in China. Auch die Luftfahrtindustrie steht vor einem Wandel. Hierzulande nennt sich der Trend Industrie 4.0, im englischsprachigen Raum wird er auch als Internet of Things heiß diskutiert. Was steckt dahinter?**

„Eine Definition von Industrie 4.0 ist schwierig. Der Begriff wird sehr breit und oft sehr unkonkret benutzt. Plötzlich ist alles 4.0, die Arbeit, die Logistik“, erklärt Tobias Strölin vom Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) in Stuttgart. Er spricht lieber von einer „Digitalisierung der Wertschöpfung“ und rät: „Jedes Unternehmen muss Industrie 4.0 für sich selbst definieren.“ Im privaten Leben bereits allgegenwärtig, hält das Internet Einzug in die Fertigung. Denn eine zunehmende Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft verändert auch die Pro-

duktion und Arbeitsweise. In Zukunft, so die Experten, vernetzen sich Menschen, Maschinen, Anlagen, Logistik und Produkte in Echtzeit miteinander. Die Produktion organisiert sich weitestgehend selbst – flexibel, effizient und den individuellen Kundenwünschen entsprechend. Es entsteht die intelligente Fabrik – das Paradebeispiel für Industrie 4.0.

Die Voraussetzungen dafür haben modernste Informationstechnologien und neue Möglichkeiten der Datenverarbeitung geschaffen: mehr Speicherkapazität, höhere Geschwindigkeit, kleinere Baugrößen, bessere Sensorik. Enorme Fortschritte in Sachen künstlicher Intelligenz haben etwa dazu geführt, dass Leichtbauroboter heutzutage zu einem vergleichsweise günstigen Preis am Markt zu haben sind.

*„In der Luftfahrt stehen wir erst am Anfang von Industrie 4.0. Am MTU-Standort München betreiben wir allerdings bereits seit einigen Jahren zwei teilautomatisierte Fertigungslinien, und mit der weitgehend selbststeuernden, digitalisierten neuen Bliskproduktion gehen wir noch einen Schritt weiter.“*

**Richard Maier,**

Leiter Produktionsentwicklung, MTU Aero Engines

Technologische Grundlage für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 sind so genannte cyber-physische Systeme, in denen Produkte und Produktionsmittel kommunikationsfähig und flexibel vernetzbar sind. „Das Bauteil bekommt Füße“, nennt es Strölin. Es kann sich mittels RFID-Technologie, die über elektromagnetische Wellen arbeitet, selbst identifizieren, weiß wie es bearbeitet werden soll und nimmt mit der Produktionsanlage Kontakt auf. Die entscheidet wiederum eigenständig, was wann zu tun ist und in welcher Reihenfolge. Nach Dampfmaschine, Fließband, Elektronik und IT wäre das die neue, vierte Revolution, daher der Name „Industrie 4.0“. Eine Vision?

### Die Luftfahrt hat ihre eigenen Gesetze

„In der Luftfahrt stehen wir erst am Anfang von Industrie 4.0. Am MTU-Standort München betreiben wir allerdings bereits seit einigen Jahren zwei teilautomatisierte Fertigungslinien, und mit der weitgehend selbststeuernden, digitalisierten neuen Bliskpro-

duktion gehen wir noch einen Schritt weiter“, sagt Richard Maier, Leiter Produktionsentwicklung des Antriebsherstellers MTU Aero Engines. Andere Branchen wie die Automobilindustrie sind schon weiter. Insgesamt steckt die Digitalisierung der industriellen Produktion allerdings noch in den Kinderschuhen; neben vereinzelten Anwendungen haben erste Demonstratoren, so genannte Demo-Labs, an Hochschulen und wissenschaftlichen Instituten ihre Pforten geöffnet. „In fünf Jahren erwarten wir am Ende der Erprobungsphase bereits erste Wettbewerbsvorteile, in zehn bis zwanzig Jahren die ersten Smart Factories“, so die Einschätzung Strölins.

Die Fertigung in der Luftfahrt folgt allerdings eigenen Gesetzen, das Konzept von intelligenten Fabriken ist nur bedingt übertragbar. Zum Vergleich: Airbus produziert 2,5 Flugzeuge am Tag – ein Automobilhersteller schafft mehrere Tausend Autos. „Wir fertigen zwar in Serie, aber in geringen Mengen. Das ist alles andere als eine



**Automatische Bestückung** — In der Bliskproduktion bei der MTU in München werden Rohteile direkt zur Bearbeitung in die Maschine eingesteuert, die sich selbst auf das zu bearbeitende Bauteil einstellt.



**Mehr als Augenmaß** — In der Qualitätskontrolle der Bliskfertigung werden rechnergesteuerte optische Messsysteme eingesetzt.





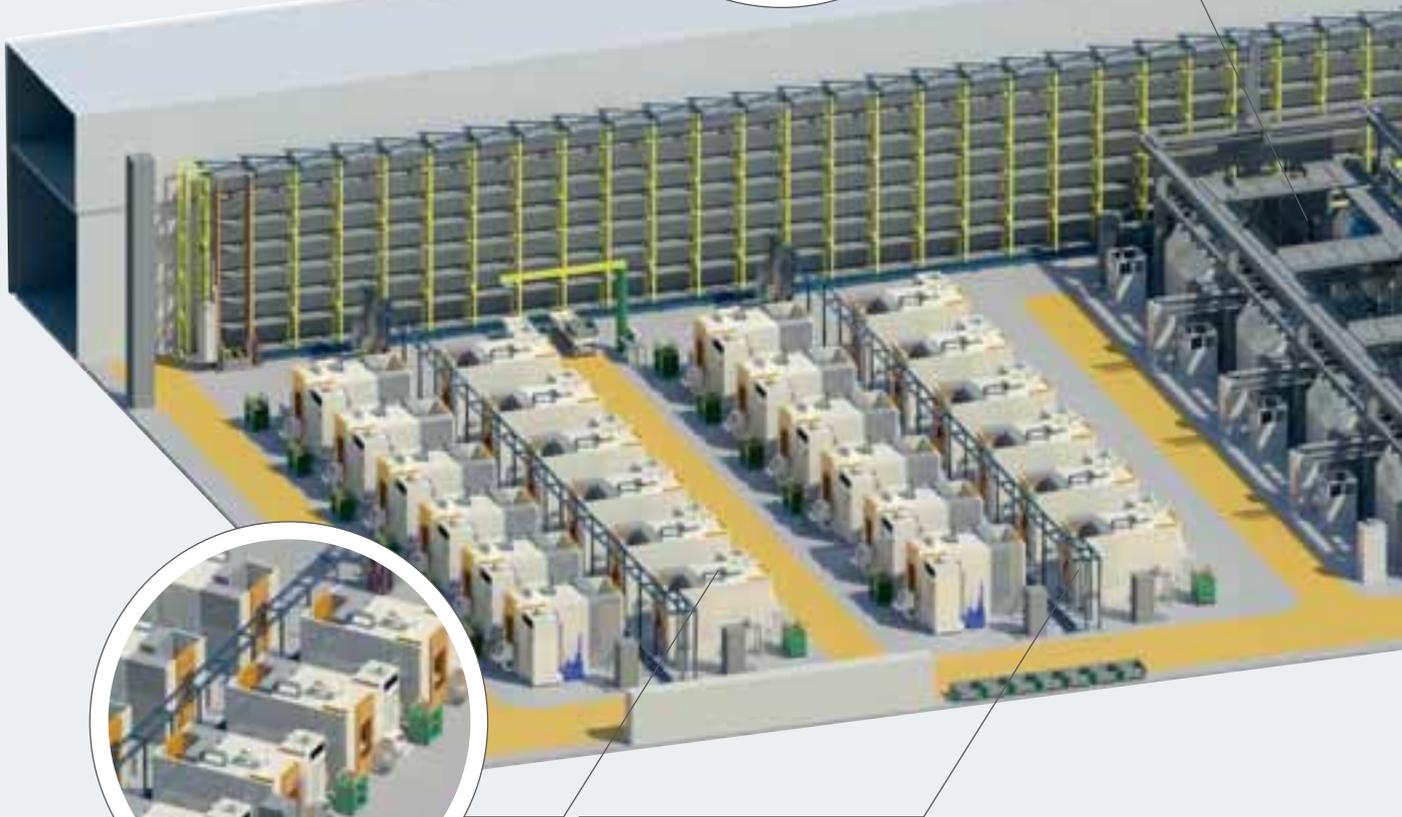
**Kollege Roboter** — Noch ungewöhnlich in der Luftfahrtindustrie: Airbus testet in Entwicklungslabors Roboter in der Fertigung.

Massenproduktion“, so Maier. Zudem steige der technologische Anspruch an einzelne Bauteile kontinuierlich, daher müssten immer mehr Prozesse – möglichst integriert – durchgeführt werden. Das Produkt wird komplexer, seine Herstellbarkeit schwieriger. Wichtig seien in erster Linie stabile Prozesse. In der Luftfahrttechnik entsteht immer noch viel in Einzelfertigung. Maier: „Wir können nicht um jeden Preis automatisieren.“ Aber eine Automatisierung lohnt sich im Triebwerksbau angesichts neuer Bauteilfamilien immer mehr. Dabei wird über ein Familienkonzept ein Kerntriebwerk für mehrere Anwendungen

skaliert. Bestes Beispiel: der neue Getriebefan, die PW1000G-PurePower®-Antriebsfamilie, für fünf Flugzeughersteller und ihre Modellreihen. Das bringt eine große Vergleichbarkeit der Teile und damit ein hohes Volumen mit sich. Die MTU produziert für die PW1000G-Familie Verdichter-Blinks, eine Spezialität des Unternehmens. Die Hightech-Bauteile, integral gefertigte Verdichterstufen, werden in einer neu errichteten Fertigungshalle mit einem hohen Automatisierungsgrad und intelligentem Steuerungssystem produziert – die weltweit modernste Fertigung für Triebwerksteile dieser Art (siehe „Inside MTU“ auf Seite 12).

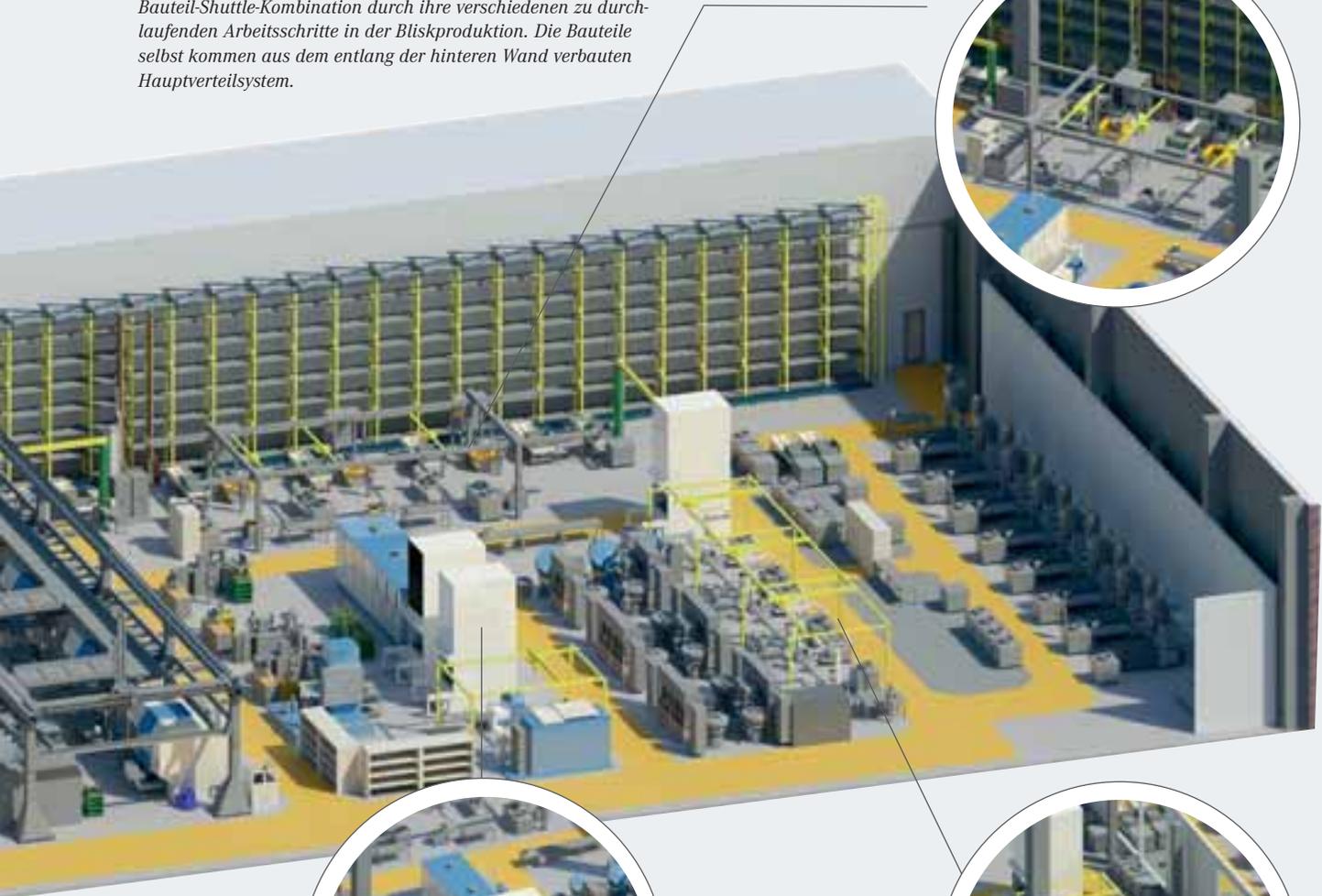
## Inside MTU — Automatisierte Bliskproduktion

**Drehfräsen** — Die Maschinengruppe besteht aus sieben Monforts UniCen 1002 Maschinen, auf denen Bliskbauteile gedreht und gefräst werden. Die Maschinen eignen sich vor allem für die Bearbeitung von schwer zerspanbaren Werkstoffen, wie sie oftmals bei Triebwerkskomponenten eingesetzt werden. Für die 5-Achs-Bearbeitung lassen sich die Werkzeuge in nahezu jeder Position und jedem Winkel zum Werkstück positionieren. Die Drehfräsmaschinen werden durch ein Flächenportal mit Bauteilen be- und entladen.



**Fräsen** — Für die Effizienz der Halle sind die 24 Mikron HPM 800U-Fräsmaschinen zur Herstellung der Schaufelblätter essenziell: Anstatt für jeden Anwendungsfall die passend adaptierte Maschine bereitzustellen, ist die MTU mit diesem Maschinentyp in der Lage, sämtliche Blisks der GTF-Programme auf einer einzigen Einheit herzustellen. Die Fräsmaschinen werden durch Regalbediengeräte be- und entladen.

**Rüsten** — Im Rüstbereich werden die jeweiligen Bauteile auf Bearbeitungsvorrichtungen aufgebaut. Der Zentralrechner steuert den weiteren Weg der mit einem Barcode versehenen Bauteil-Shuttle-Kombination durch ihre verschiedenen zu durchlaufenden Arbeitsschritte in der Bliskproduktion. Die Bauteile selbst kommen aus dem entlang der hinteren Wand verbauten Hauptverteilssystem.



**Werkzeugvoreinstellung** —

Hier werden die Werkzeuge für die jeweiligen Arbeitsschritte und Maschinen beim Fräsen präpariert. Selbst kleinste Fehler im Werkzeugvoreinstellraum beeinflussen die gesamte folgende Produktionskette.

**Entgraten** — Beim Entgraten versäubern Mitarbeiter bestimmte Bereiche der Bauteile von Hand. Zu dieser Sektion gehört auch das Gleitschleifen für die Politur der Schaufelblätter an den Blisks.



**Fertig und weiter** ———  
*Bearbeitete Bauteile werden automatisch aus der Maschine geholt, die sofort bereit ist für das nächste Werkstück.*

### Digitalisierung als Beschleuniger

„Für die Luftfahrt ist großes Potenzial vorhanden“, bescheinigt Maier der Industrie 4.0. Die Branche muss angesichts des Kostendrucks vor allem in Hochlohnländern wettbewerbsfähig bleiben. Tom Enders, CEO der Airbus-Gruppe mit Produktionsstandorten in Deutschland und Frankreich, fordert „die Möglichkeiten der digitalen Revolution zu nutzen. Dazu gehört, dass die Konzeption, Entwicklung und Herstellung unserer Produkte wesentlich effizienter und schneller wird.“ Der europäische Flugzeugbauer arbeitet an einer Fabrik der Zukunft, in der neue Wege der Fertigung getestet und schrittweise integriert werden: virtuelle Entwicklungswelten für neue Flugzeuge, fortschrittliche digitale Technologien im Shopfloor, eine neue Roboter-Generation, die in der Linie zusammen mit Menschen arbeitet, sowie die additive Fertigung. Airbus zieht das Tempo an. Die Automatisierung soll in der Fabrik der Zukunft vor allem in der Montage zunehmen, intelligente Roboter zum Beispiel sollen sich wiederholende und schwere Tätigkeiten erledigen. 2015 hat das Unternehmen 635 Flugzeuge ausgeliefert – ein neuer Rekord. Die Auftragsbücher sind prall gefüllt, die Produktionsraten sollen in Zukunft noch weiter nach oben klettern – für den Verkaufsschlag A320neo auf bis zu 60 Flugzeuge monatlich.

„Durch Industrie 4.0 wird die Basis für einen systematischen Lernprozess erzeugt. Es geht darum, aus Daten zu lernen und kontinuierlich Prozesse zu verbessern. Industrie 4.0 wird dabei helfen, komplexe Prozesse beherrschbarer zu machen. Das gilt

auch für die Luftfahrt“, sagt Dr.-Ing. Christina Reuter vom Lehrstuhl für Produktionssystematik an der RWTH Aachen. Einer europaweiten Studie im Auftrag des Bundesverbands der Deutschen Industrie zufolge bringt die Digitalisierung der Luft- und Raumfahrtstechnik ab 2025 voraussichtlich ein zusätzliches Jahres-Plus von zehn Milliarden Euro in der Bruttowertschöpfung. Die Branche werde den digitalen Wandel zeitversetzt in einer dritten Welle erleben. In der ersten und zweiten Welle stecken demnach Automobilindustrie und Logistik.

Für die Luftfahrtstechnik sehen die Experten dabei nicht so sehr technische, sondern vor allem regulative Hürden. Mehr Vernetzung bedeute ein höheres Cyberrisiko. Und dafür ist die Luft- und Raumfahrtbranche mit ihren sehr hohen Sicherheitsvorschriften besonders empfindlich. Die IT-Sicherheit ist jedoch für alle Industrie 4.0-Anwendungen die große Herausforderung. Selbstfahrende Autos – technisch längst möglich – reduzieren zwar das Unfallrisiko, dafür entstehen neue Risiken bei der Datensicherheit. „Wir müssen die Daten zuverlässig vor unqualifizierten oder unerlaubten Zugriffen sichern“, betont auch Maier.

Noch sind nicht alle Hürden genommen. Aber: „In zehn Jahren werden wir gar nicht mehr darüber reden, dann ist die Digitalisierung da“, ist sich Strölin sicher. Und die soll so einiges abwerfen: McKinsey hat errechnet, dass der größte wirtschaftliche Mehrwert einer intelligenten Vernetzung in einem Internet der Dinge für Fabriken bestehe: weltweit bis zu 3,7 Billionen Dollar im Jahr 2025. 



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)



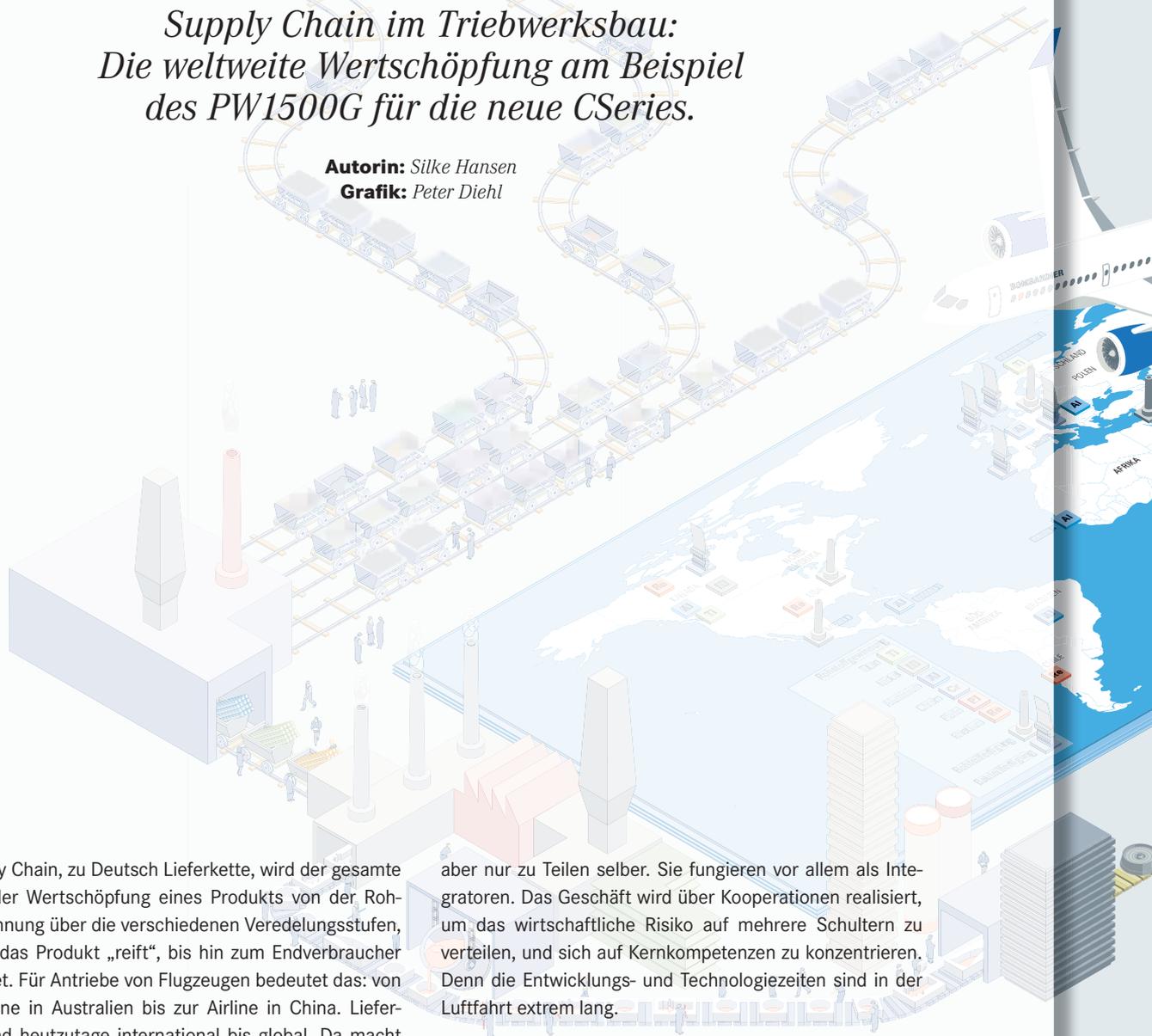
Autorin:

**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.

# Kettenreaktionen

*Supply Chain im Triebwerksbau:  
Die weltweite Wertschöpfung am Beispiel  
des PW1500G für die neue C Series.*

**Autorin:** Silke Hansen  
**Grafik:** Peter Diehl



Mit Supply Chain, zu Deutsch Lieferkette, wird der gesamte Prozess der Wertschöpfung eines Produkts von der Rohstoffgewinnung über die verschiedenen Veredelungsstufen, in denen das Produkt „reift“, bis hin zum Endverbraucher bezeichnet. Für Antriebe von Flugzeugen bedeutet das: von der Erzmine in Australien bis zur Airline in China. Lieferketten sind heutzutage international bis global. Da macht der Triebwerksbau keine Ausnahme.

Was die Wertschöpfung dieser Branche so besonders macht, ist ihr hohes technologisches Niveau. Luftfahrtantriebe sind High-Tech-Produkte, technisch äußerst anspruchsvoll und komplex. Das führt zu einem reduzierten Lieferantenmarkt und hohem Spezialistentum. OEMs (Original Equipment Manufacturers) für Luftfahrtantriebe treten zwar als Komplettanbieter auf, fertigen ihr Produkt

aber nur zu Teilen selber. Sie fungieren vor allem als Integratoren. Das Geschäft wird über Kooperationen realisiert, um das wirtschaftliche Risiko auf mehrere Schultern zu verteilen, und sich auf Kernkompetenzen zu konzentrieren. Denn die Entwicklungs- und Technologiezeiten sind in der Luftfahrt extrem lang.

Hinzu kommt, dass Flugzeuge und Triebwerke keine Massenware, das heißt die Herstellraten gering sind. 2015 hat Airbus einen neuen Rekord von 635 Flugzeugauslieferungen geschafft. Zum Vergleich: Volkswagen produziert allein in Wolfsburg 836.000 Autos im Jahr. Dafür erlangen Flugzeug und Antrieb am Ende der Supply Chain einen hohen Wert: Der durchschnittliche Listenpreis einer C Series 100 mit zwei PW1500G-Antrieben liegt bei aktuell 71,8 Millionen US-Dollar.

07 **Endkunde**

Die Lufthansa-Tochter Swiss ist Erstkunde der neuen Flugzeugfamilie. 20 Flugzeuge der kleineren CS100 sollen die in die Jahre gekommenen „Jumbos“ Avro RJ100 ablösen. Die Swiss-Piloten haben ihren neuen Arbeitsplatz bereits vor Ort in Kanada besichtigt. Nach dem ersten Kennenlernen ging es auf ein gemeinsames Streckentraining an der Seite der Bombardier Flug-Crew durch Europa. Im regulären Flugbetrieb wird die CSeries mit PW1500G auf inhereuropäischen Strecken fliegen.

*Step into: Ein Puzzle wird fertig*

Die Endmontage eines Flugzeuges gleicht einem großen Puzzle. Alle Teile der weltweit verstreuten Lieferanten müssen pünktlich in Kanada zum Einbau eintreffen. Nicht nur die Triebwerke werden extern angeliefert, bei der CSeries kommen zum Beispiel das Cockpit und der Rumpf aus China, das Leitwerk aus Italien und das Fahrwerk aus Deutschland.

06 **Einbau ins Flugzeug**

Bombardier baut die CSeries in der Nachbarschaft des Werks von Pratt & Whitney Canada zusammen. Zwischen 15 und 20 Maschinen mit je zwei Triebwerken werden noch in diesem Jahr fertiggestellt. Mehrere Flugzeuge sind bei den Herstellern in unterschiedlichen Stadien gleichzeitig in Bearbeitung. Auslieferungen: 315 bis 2020, Jahresproduktion bis zu 120 Flugzeuge. Obwohl in Nordamerika montiert, treten die ersten CS100 in Europa den Liniendienst an.

*Das Flugzeug, der Antrieb: ein Blick hinter die Kulissen*

Bombardier, eigentlich Spezialist für kleinere Regionaljets, drängt mit der neuen CSeries in den von Airbus und Boeing beherrschten Markt der Kurz- und Mittelstreckenflugzeuge. Zwei Modelle bieten die Kanadier an, die CS100 und CS300, mit einer Sitzplatzkapazität von 100 bis 150 Passagieren (maximal 160). Das PW1500G ist Exklusivantrieb; 243 Jets sind bislang fest bestellt.

05 **Triebwerksmontage**

Erst jetzt wird der Luftfahrtantrieb fertig. Alle Lieferanten schicken ihre Module zum OEM Pratt & Whitney. Im Mirabel Aerospace Centre am Flughafen Montreal-Mirabel International in Kanada lässt Pratt & Whitney das komplette Triebwerk aufbauen. Durchlaufzeit: etwa vier Monate, einschließlich Abnahmetest auf dem Prüfstand. Alle im Lastenheft festgelegten Spezifikationen müssen erfüllt sein, bevor es zum Flugzeughersteller Bombardier geht.

04 **Modulmontage**

Sind alle Bauteile hergestellt, werden sie zu einem Modul aufgebaut. Ein Triebwerk entsteht nicht auf Einzelteilebene, sondern in vormontierten Baugruppen. Die Montage dauert je nach Komponente unterschiedlich lange. Die Niederdruckturbinen für das PW1500G kann beispielsweise in fünf Arbeitstagen komplettiert werden. Einzelne Kaufteile, die beim Modulhersteller fertig angeliefert werden, kommen jetzt erst in den Kreislauf.

Was wird wo montiert?

- Kerntriebwerk (Hochdruckverdichter, Brennkammer, Hochdruckturbinen):  
Pratt & Whitney, North Berwick, USA
- Niederdruckturbinen: MTU Aero Engines Polska, Rzeszów, Polen

03

04

04

05

06

07



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:

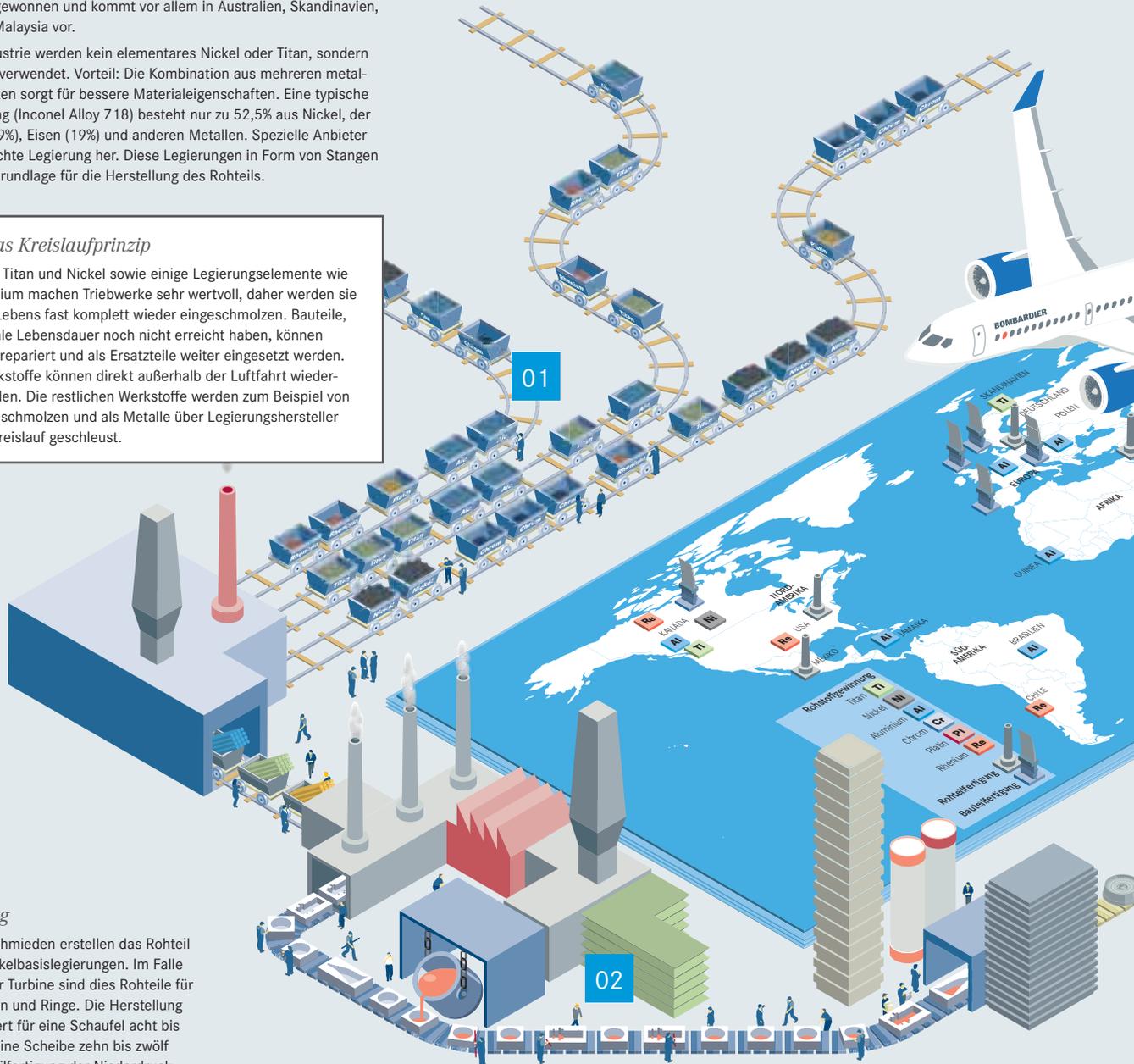
**Silke Hansen** schreibt als freie Journalistin für den AEROREPORT. Seit über zehn Jahren berichtet sie aus der Welt der Luftfahrt, ihre Themenschwerpunkte sind Technik, Innovation und Markt. Ein weiteres Spezialgebiet der Autorin ist das Corporate Responsibility Reporting.

01 Rohstoffgewinnung

In einem Triebwerk kommt eine Vielzahl von Materialien zum Einsatz, etwa Titan, Nickel, Stahl, Aluminium, Kunststoffe, Platin und Rhenium. Die wichtigsten Rohstoffe sind Titan und Nickel, Titan für den vorderen Bereich (Fan, Verdichter) und Nickel für den Hochtemperaturbereich (Brennkammer, Turbine). Nickel wird aus Erzminen gewonnen und dann weiter veredelt; große Vorkommen gibt es in Kanada, Australien, Russland und Indonesien. Titan wird aus Titaneisenerz gewonnen und kommt vor allem in Australien, Skandinavien, Nordamerika und Malaysia vor. In der Luftfahrtindustrie werden kein elementares Nickel oder Titan, sondern Basis-Legierungen verwendet. Vorteil: Die Kombination aus mehreren metallischen Komponenten sorgt für bessere Materialeigenschaften. Eine typische Nickelbasislegierung (Inconel Alloy 718) besteht nur zu 52,5% aus Nickel, der Rest aus Chrom (19%), Eisen (19%) und anderen Metallen. Spezielle Anbieter stellen die gewünschte Legierung her. Diese Legierungen in Form von Stangen oder Stäben sind Grundlage für die Herstellung des Rohteils.

**Step into: Das Kreislaufprinzip**

Hohe Preise für Titan und Nickel sowie einige Legierungselemente wie Platin und Rhenium machen Triebwerke sehr wertvoll, daher werden sie am Ende ihres Lebens fast komplett wieder eingeschmolzen. Bauteile, die ihre maximale Lebensdauer noch nicht erreicht haben, können gegebenenfalls repariert und als Ersatzteile weiter eingesetzt werden. Bestimmte Werkstoffe können direkt außerhalb der Luftfahrt wiederverwendet werden. Die restlichen Werkstoffe werden zum Beispiel von Recyclern eingeschmolzen und als Metalle über Legierungshersteller zurück in den Kreislauf geschleust.



02 Rohteilfertigung

Gießereien oder Schmieden erstellen das Rohteil aus Titan- oder Nickelbasislegierungen. Im Falle von Verdichter oder Turbine sind dies Rohteile für Schaufeln, Scheiben und Ringe. Die Herstellung eines Rohteils dauert für eine Schaufel acht bis zehn Wochen, für eine Scheibe zehn bis zwölf Wochen. Die Rohteilfertigung der Niederdruckturbinen-Schaufeln erfolgt je nach Komplexität weltweit, vor allem in Deutschland, USA, Mexiko und Israel. Das Luftfahrtantriebsrohteil, das zur Fertigbearbeitung weiter geschickt wird, hat im Vergleich zu anderen Branchen bereits einen hohen Komplexitätsgrad.

03 Bauteilfertigung

Das Rohteil wird zur Fertigbearbeitung an die „eigentlichen“ Lieferanten des Bauteils geschickt. Luftfahrtantriebe entstehen in Kooperationen aus Spezialisten für einzelne Triebwerksmodule.

Wer übernimmt was beim PW1500G?

- Pratt & Whitney (USA) als OEM: Fan, Hochdruckverdichter (hintere 4 Stufen), Niederdruckverdichter, Brennkammer
- GKN Aerospace (Großbritannien): Turbinenaustrittsgehäuse, Verdichterswischengehäuse
- Avio Aero (Italien): Getriebe
- MTU Aero Engines: Niederdruckturbine, Hochdruckverdichter (vordere 4 Stufen), Bürstendichtungen
- ITP (Spanien): Strukturteile und Anbaugeräte

Beispiel Niederdruckturbine: besteht beim PW1500G aus drei Stufen und ca. 90 Teilenummern, insgesamt aus 1.228 einzelnen Teilen, die der Mechaniker später zur Montage in die Hand nimmt. In Wahrheit liegt die Teilevielfalt noch viel höher; die gegossenen Rohteile spanen und beschichten die MTU und ihre Zulieferer zum Fertigteil.

07 *Endkunde*

Die Lufthansa-Tochter Swiss ist Erstkunde der neuen Flugzeugfamilie. 20 Flugzeuge der kleineren CS100 sollen die in die Jahre gekommenen „Jumbos“ Avro RJ100 ablösen. Die Swiss-Piloten haben ihren neuen Arbeitsplatz bereits vor Ort in Kanada besichtigt. Nach dem ersten Kennenlernen ging es auf ein gemeinsames Streckentraining an der Seite der Bombardier Flug-Crew durch Europa. Im regulären Flugbetrieb wird die CSeries mit PW1500G auf inhereuropäischen Strecken fliegen.

*Step into: Ein Puzzle wird fertig*

Die Endmontage eines Flugzeuges gleicht einem großen Puzzle. Alle Teile der weltweit verstreuten Lieferanten müssen pünktlich in Kanada zum Einbau eintreffen. Nicht nur die Triebwerke werden extern angeliefert, bei der CSeries kommen zum Beispiel das Cockpit und der Rumpf aus China, das Leitwerk aus Italien und das Fahrwerk aus Deutschland.

06 *Einbau ins Flugzeug*

Bombardier baut die CSeries in der Nachbarschaft des Werks von Pratt & Whitney Canada zusammen. Zwischen 15 und 20 Maschinen mit je zwei Triebwerken werden noch in diesem Jahr fertiggestellt. Mehrere Flugzeuge sind bei den Herstellern in unterschiedlichen Stadien gleichzeitig in Bearbeitung. Auslieferungen: 315 bis 2020, Jahresproduktion bis zu 120 Flugzeuge. Obwohl in Nordamerika montiert, treten die ersten CS100 in Europa den Liniendienst an.

*Das Flugzeug, der Antrieb: ein Blick hinter die Kulissen*

Bombardier, eigentlich Spezialist für kleinere Regionaljets, drängt mit der neuen CSeries in den von Airbus und Boeing beherrschten Markt der Kurz- und Mittelstreckenflugzeuge. Zwei Modelle bieten die Kanadier an, die CS100 und CS300, mit einer Sitzplatzkapazität von 100 bis 150 Passagieren (maximal 160). Das PW1500G ist Exklusivantrieb; 243 Jets sind bislang fest bestellt.

05 *Triebwerksmontage*

Erst jetzt wird der Luftfahrtantrieb fertig. Alle Lieferanten schicken ihre Module zum OEM Pratt & Whitney. Im Mirabel Aerospace Centre am Flughafen Montreal-Mirabel International in Kanada lässt Pratt & Whitney das komplette Triebwerk aufbauen. Durchlaufzeit: etwa vier Monate, einschließlich Abnahmetest auf dem Prüfstand. Alle im Lastenheft festgelegten Spezifikationen müssen erfüllt sein, bevor es zum Flugzeughersteller Bombardier geht.

04 *Modulmontage*

Sind alle Bauteile hergestellt, werden sie zu einem Modul aufgebaut. Ein Triebwerk entsteht nicht auf Einzelteilebene, sondern in vormontierten Baugruppen. Die Montage dauert je nach Komponente unterschiedlich lange. Die Niederdruckturbinen für das PW1500G kann beispielsweise in fünf Arbeitstagen komplettiert werden. Einzelne Kaufteile, die beim Modulhersteller fertig angeliefert werden, kommen jetzt erst in den Kreislauf.

Was wird wo montiert?

- Kerntriebwerk (Hochdruckverdichter, Brennkammer, Hochdruckturbinen):  
Pratt & Whitney, North Berwick, USA
- Niederdruckturbinen: MTU Aero Engines Polska, Rzeszów, Polen

03

04

04 *Modulmontage*

Sind alle Bauteile hergestellt, werden sie zu einem Modul aufgebaut. Ein Triebwerk entsteht nicht auf Einzelteilebene, sondern in vormontierten Baugruppen. Die Montage dauert je nach Komponente unterschiedlich lange. Die Niederdruckturbinen für das PW1500G kann beispielsweise in fünf Arbeitstagen komplettiert werden. Einzelne Kaufteile, die beim Modulhersteller fertig angeliefert werden, kommen jetzt erst in den Kreislauf.

Was wird wo montiert?

- Kerntriebwerk (Hochdruckverdichter, Brennkammer, Hochdruckturbinen):  
Pratt & Whitney, North Berwick, USA
- Niederdruckturbinen: MTU Aero Engines Polska, Rzeszów, Polen



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.

# Aus drei mach eins

*Wenn Triebwerke das Ende ihres Einsatzlebens erreichen, müssen sie – anders als Flugzeuge – nicht unbedingt verschrottet werden. Was mit dem Triebwerk geschieht, hängt von den individuellen Bedürfnissen der Airline oder des Leasinggebers ab.*

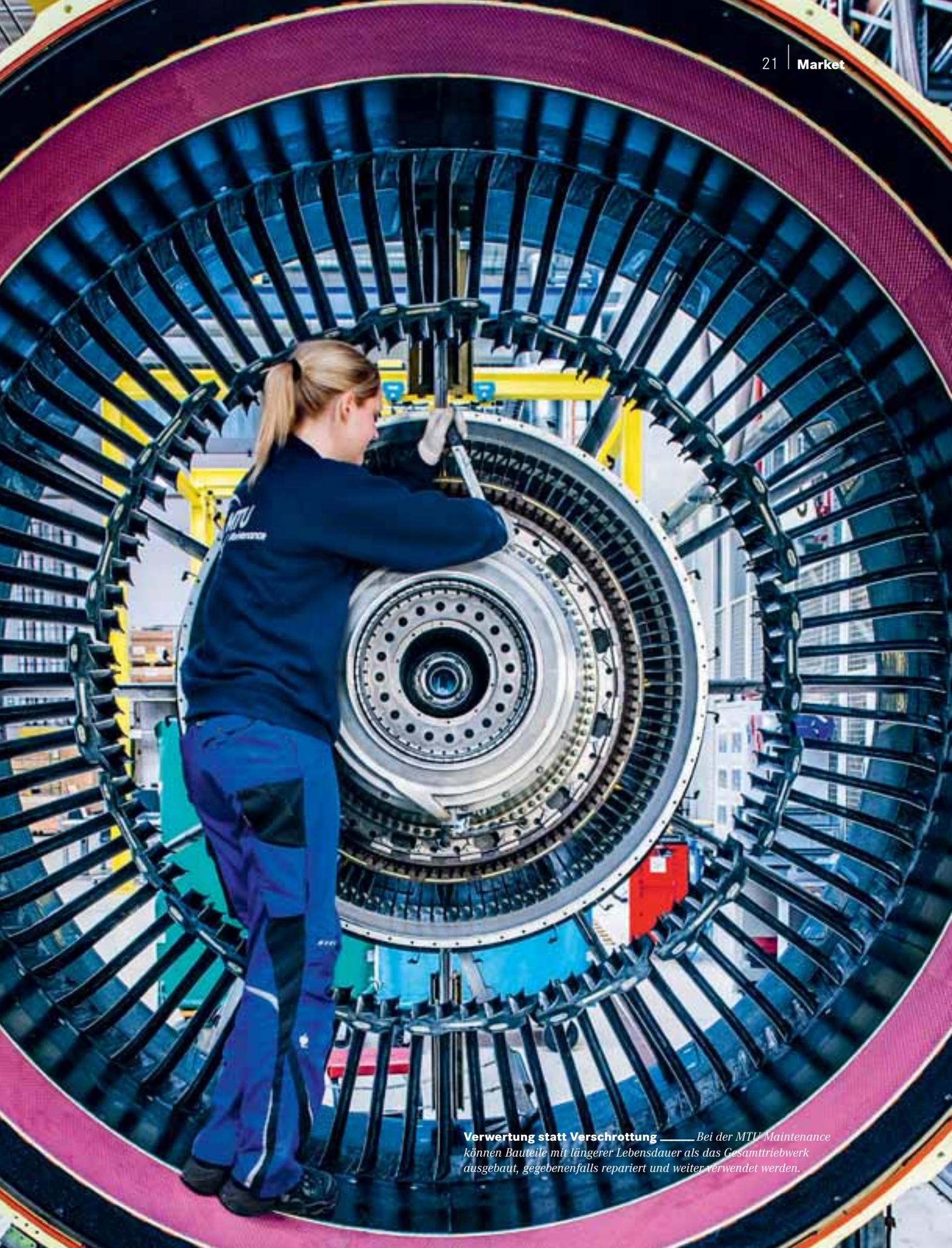
**Autor:** Achim Figgen

Was ist „Asset Management“? Bei der Suche nach einer Antwort muss man ja nicht gleich den Weg von Professor Bömmel beschreiten, der sich in der „Feuerzangenbowle“ bei der Frage nach der „Dampfmaschine“ zunächst einmal „janz dumm“ stellte. Dennoch ist es vielleicht keine schlechte Idee, es einstweilen mit einer simplen Erklärung zu versuchen. Dick Forsberg, Chefstrategie des Leasingunternehmens Avolon, hat vor Jahren eine solche geliefert: „Gut einkaufen, besser verkaufen und dazwischen gewissenhaft behandeln.“ Etwas konkreter ausgedrückt ist Asset Management demnach das Bestreben, den Wert der zur Erreichung des Geschäftsziels eingesetzten „Assets“ – also allgemein Anlagen, Maschinen und Gebäude, im Falle der Luftfahrt die Flugzeuge – zu maximieren.

Doch wie genau das zu geschehen hat, kann unter Umständen erheblich differieren und ist abhängig beispielsweise von der Art des Eigentümers – Fluggesellschaft oder ein Leasingunternehmen – oder vom Alter des Fluggeräts. „Eine 30 Jahre alte Boeing 747

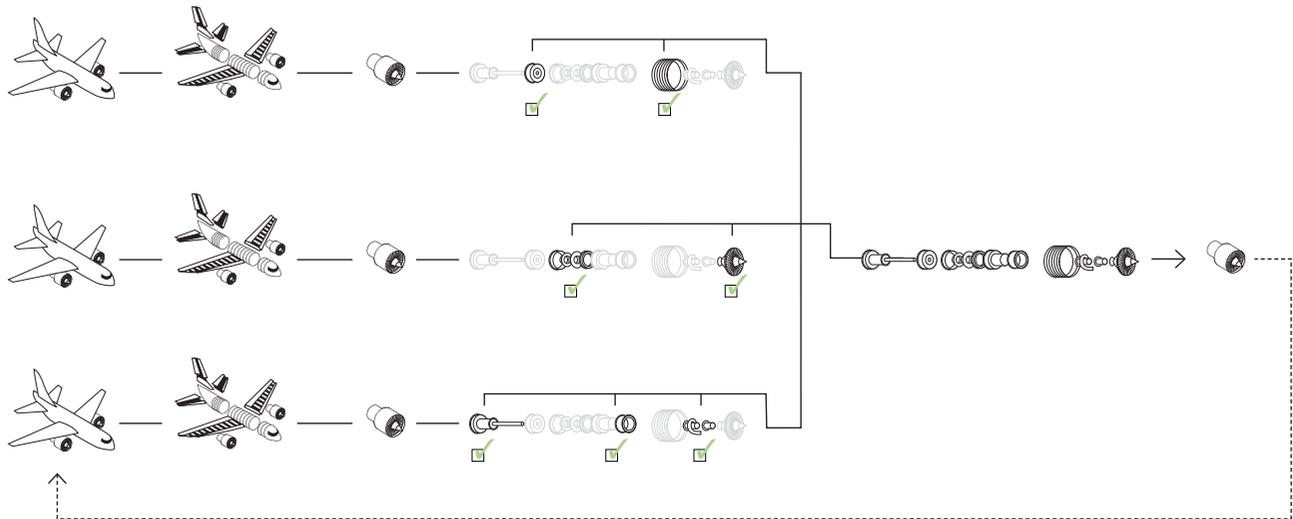
mit CF6-Triebwerken ist noch Millionen wert, ohne Triebwerke ist sie praktisch nur noch Altmetall“, verweist Jürgen Kuhn auf einen kleinen, aber feinen Unterschied. Eine Flugzeugzelle, so der Leiter Corporate Development bei der MTU Aero Engines, habe nun einmal eine begrenzte Lebensdauer, und wenn diese erreicht sei, könne das „Asset“ nur noch verschrottet werden.

Das gilt allerdings nicht automatisch auch für die diversen sonstigen Komponenten eines Luftfahrzeugs und speziell die größten und teuersten darunter, die Triebwerke. Die nämlich kennen zwar einzelne Bauteile mit begrenzter Lebensdauer (Life Limited Parts, LLP), doch nach einer umfangreichen Überholung ist der Antrieb praktisch wieder wie neu und kann noch viele Jahre genutzt werden. Ob das tatsächlich geschieht, hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab – der allgemeinen Marktsituation, der wirtschaftlichen Lage und den Plänen des Eigentümers sowie schließlich vom Triebwerkstyp und dem zugehörigen Angebot an Wartungs- und Überholungsdienstleistungen.



**Verwertung statt Verschrottung** — Bei der MTU Maintenance können Bauteile mit längerer Lebensdauer als das Gesamttriebwerk ausgebaut, gegebenenfalls repariert und weiter verwendet werden.

**VERWERTUNG VON TRIEBWERKEN**



**Prinzipdarstellung der Verwertung von Triebwerken** — Bauteile aus mehreren älteren Triebwerken können zu einem Triebwerk zusammengebaut werden, das noch mehrere Jahre läuft.

Als Beispiel soll ein Triebwerk dienen, das noch etwa 2.000 Flugzyklen Restlaufzeit aufweist und zu einem Flugzeugmuster gehört, das die Airline noch weitere fünf Jahre betreiben möchte. Dafür reichen die 2.000 Zyklen nicht, aber es wäre auch nicht sinnvoll, lebensdauerbeschränkte Teile durch komplett neue zu ersetzen, die für 20.000 oder mehr Flugzyklen gut sind. Stattdessen wird man beispielsweise Ersatzteile einbauen, die mit Ablauf von 5.000 Zyklen „abgeflogen“ sind, so dass das Triebwerk anschließend zerlegt werden kann, um die noch brauchbaren Einzelteile weiterzuverkaufen. Möglicherweise möchte die Fluggesellschaft das Triebwerk aber nach Außerdienststellung des Flugzeugs weiterverkaufen, so dass Ersatzteile mit deutlich höherer Restlebensdauer benötigt werden. Sinnvolles Asset Management ist zweifellos eine Gleichung mit vielen Unbekannten; letztlich aber geht es darum, das Triebwerk dergestalt zu behandeln, dass seine weiteren Verwendungsmöglichkeiten exakt auf den Eigentümer und seine aktuellen beziehungsweise künftigen Bedürfnisse zugeschnitten sind.

**Komplett aus einer Hand**

Bei der MTU Maintenance hält man unter dem Schlagwort „Mature Engines Solutions“ entsprechende Angebote für Betreiber älterer Triebwerke – innerhalb des MTU-Maintenance-Portfolios sind dies

beispielsweise CF6-80 und CFM56-3 – bereit. „Geburtsshelfer“ für diese Aktivitäten war nicht zuletzt Southwest Airlines. Als bei der US-amerikanischen Billigfluggesellschaft die Ausmusterung der letzten Boeing 737-500 und -300 und damit der CFM56-3-Triebwerke anstand, präsentierte MTU Maintenance Canada ein Konzept, bei dem aus freierwerdenden Triebwerken der schrumpfenden 737-Flotte geeignete Ersatzteile für die verbleibenden Antriebe gewonnen werden („aus drei mach eins“) und so die Ausphasung, die bis 2018 abgeschlossen sein soll, optimal und kostengünstig gestaltet werden kann.

Von Vorteil sei, so Dennis Reichel, ebenfalls in der Abteilung Corporate Development zu Hause, dass man als Hersteller und unabhängiges Instandhaltungsunternehmen anders als beispielsweise ein reiner Ersatzteilhändler in der Lage sei, ein Komplettpaket aus einer Hand anzubieten. „Wir haben marktseitig und technisch das Know-how, um den Zeitpunkt, zu dem ein Triebwerk endgültig außer Dienst gestellt werden sollte, optimal zu ermitteln.“ Vor allem aber nehme man dem Kunden das Triebwerk nicht einfach nur ab und zerlege es, sondern „wir haben auch Verwendung für die Einzelteile, weil wir innerhalb unseres Netzwerkes viele Überholungsereignisse durchführen“, sagt Reichel. „Zudem“,

**INSTANDSETZUNG VON CF6-TRIEBWERKEN**

- 01** \_\_\_ Montage bei der MTU Maintenance.  
**02** \_\_\_ Sichtprüfung eines Schaufelsegments.  
**03** \_\_\_ Demontage von Anbauteilen.  
**04** \_\_\_ Prüfung von Triebwerkelementen am Flügel.



ergänzt Jürgen Kuhn, „gehen unsere Reparaturfähigkeiten über die der meisten Überholungsbetriebe und Hersteller hinaus, so dass wir mehr Bauteile weiterverwerten können und auf diese Weise Mehrwert für den Kunden generieren.“

Angesichts der aktuell extrem niedrigen Rohöl- und Kerosinpreise denken manche Airlines jedoch darüber nach, die Einflottung neuer, spritsparender, aber in der Anschaffung teurer Muster zu verschieben und stattdessen vorhandenes Fluggerät länger zu betreiben. Je nachdem, welchen Zeithorizont die Fluggesellschaft dafür ins Auge fasst, können die Triebwerke entweder durch den Austausch von Teilen mit begrenzter Lebensdauer für weitere Einsatzjahre fit gemacht werden, oder aber die MTU nimmt die abgeflogenen Triebwerke in Zahlung und der Kunde kauft oder mietet Austauschtriebwerke. Letztlich geht es beim Asset Management eben vor allem darum, individuelle Lösungen für die unterschiedlichen Bedürfnisse der Kunden zu finden. 



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.

# LATAM – ganz Lateinamerika aus einer Hand

*LAN und TAM, zwei der traditionsreichsten Airlines Südamerikas und langjährige MTU Maintenance-Kunden, treten nach ihrer Fusion unter der neuen Marke LATAM auf.*

**Autor:** *Andreas Spaeth*

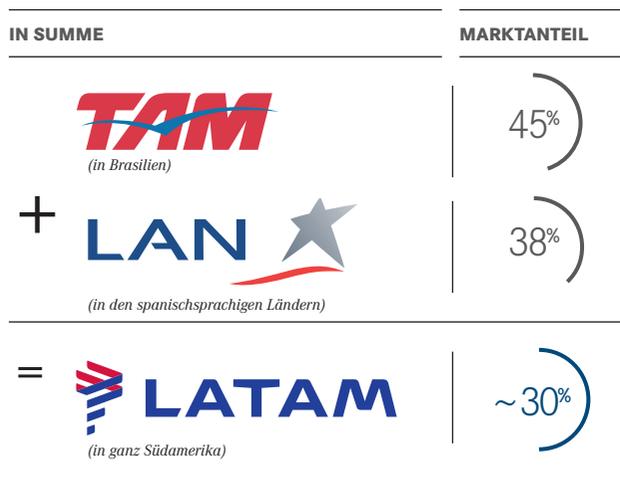




**Gewohntes Bild** — Bislang fliegen die Airlines der LATAM Group noch unter ihren jeweiligen Markennamen. Ab 2016 werden sie nach und nach in den gemeinsamen Unternehmensfarben umlackiert.

LAN ist die Abkürzung für Línea Aérea Nacional de Chile und wurde 1932 für die drei Jahre zuvor gegründete chilenische Fluggesellschaft eingeführt. Damals flog man in Chile mit einmotorigen Doppeldeckern des Typs De Havilland Gipsy Moth. TAM stand

1961 für Táxi Aéreo Marília und war zunächst eine kleine brasilianische Taxi-Fluggesellschaft. Aus beiden Unternehmen wuchsen die größten und wichtigsten Airlines Lateinamerikas heran, die in ihren Heimatländern den Markt beherrschten. Beide Firmen wurden von starken Dynastien dominiert: die stets private TAM von ihrem Patriarchen Rolim Amaro (gestorben 2001) und seiner Familie, LAN nach der Privatisierung in den 1990er Jahren von den Cuetos, die unter anderem mit Fruchtkonserven-Exporten wohlhabend geworden waren. Seit 2002 expandierte die prosperierende LAN über Chile hinaus und gründete Tochterfirmen in Nachbarländern, teilweise durch die Übernahme lokaler Gesellschaften. Seit 2004 stand LAN für Latin American Network, und obwohl die Flugzeuge in Chile, Peru, Ecuador, Argentinien und Kolumbien registriert sind, flogen sie unter dem einheitlichen Markennamen LAN. TAM wiederum weitete, nachdem sie lange eine reine Inlandsgesellschaft in Brasilien geblieben war, 1997 erstmals ihr Streckennetz in die USA aus, 1999 begannen Europa-Dienste.

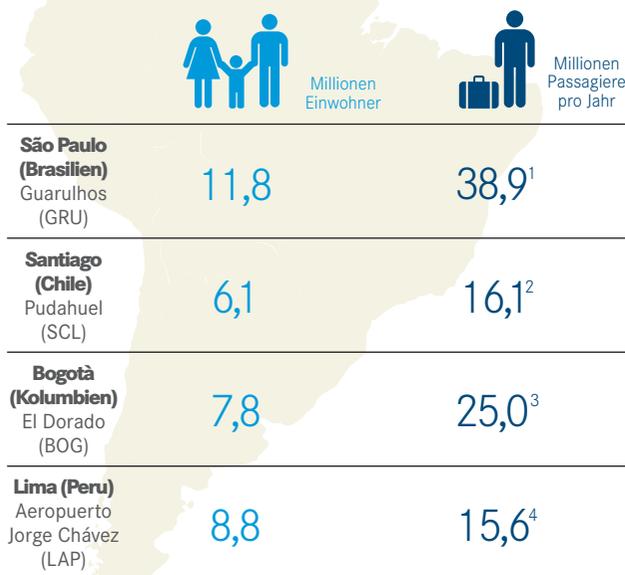


**Nr. 8** Die LATAM-Gruppe gehört mit 328 Flugzeugen und fast 68 Mio. beförderten Passagieren 2015 zu den zehn größten Airlines der Welt.

Quelle: Latam, Ascend Database

Bereits 2012 wurde die Fusion beider Gesellschaften vollzogen, die seitdem unter ihren bekannten Markennamen, aber unter dem Dach der gemeinsamen Holding LATAM flogen. Dabei hält LATAM rund 30 Prozent Marktanteil bei Flügen innerhalb sowie von und nach Lateinamerika und gehört zu den zehn größten Airline-Gruppen der Welt. 2015 beförderte sie mit zuletzt 328 Flugzeugen fast 68 Millionen Passagiere an 140 Ziele in 24 Län-

## LATAM-HUBS IN LATEINAMERIKA



<sup>1</sup> Aeroporto Internacional de Guarulhos

<sup>2</sup> 2014, Vinci Group

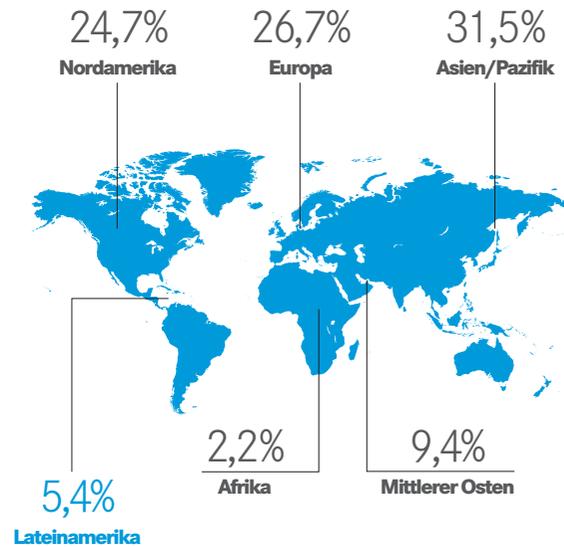
<sup>3</sup> Schätzung 2013, El Dorado International Airport

<sup>4</sup> 2014, Aeropuerto Internacional Jorge Chávez

den, davon befanden sich 117 Destinationen in Lateinamerika, ein extrem dichtes Streckennetz. Mindestens so eindrucksvoll ist die Frachtparte LAN Cargo, die sogar 144 Flughäfen in 26 Ländern anfliegt. Insgesamt arbeiten rund 53.000 Mitarbeiter für die Airlines unter dem LATAM-Dach. Derzeit herrschen vor allem auf dem größten Markt Lateinamerikas, in Brasilien, wegen der Wirtschaftskrise, der verfallenden Währung und hohen Abgaben harte Zeiten. „Durch die Größe Brasiliens wirkt sich dessen schwierige Lage auf ganz Lateinamerika aus; im ersten Halbjahr 2015 haben brasilianische Fluggesellschaften insgesamt rund 400 Millionen US-Dollar verloren“, klagt die Internationale Luftverkehrs-Vereinigung IATA (International Air Transport Association). Bei LATAM gab es 2015 einen Rückgang der Inlandspassagiere in Brasilien und anderen Ländern der Region um vier Prozent, was allerdings durch gleich großes Wachstum bei internationalen Verbindungen ausgeglichen wurde.

2016 ist ein besonderes Jahr für LATAM: Im August werden die XXXI. Olympischen Sommerspiele im Schatten des Zuckerhuts in Rio de Janeiro ausgetragen – und vorher wird die Verschmelzung der bisherigen Marken LAN und TAM zur neuen gemeinsamen LATAM-Identität vollzogen. Bis 2018 sollen alle Flugzeuge in den neuen LATAM-Farben unterwegs sein und die Namen einzelner Länder keine Rolle mehr spielen, genau wie es LAN bereits in ihrer eigenen Gruppe erfolgreich durchgeführt hat. Das neue Logo in weiß und rot auf indigo-blauem Grund, das 2015 vorgestellt wurde, soll farblich und stilistisch ein Kompromiss zwischen beiden bisherigen Markenauftritten sein. „Die neue Marke will das

## WELTWEITE LUFTVERKEHRSVERTEILUNG IM FEBRUAR 2016



Quelle: IATA

Beste beider Identitäten und Traditionen aufgreifen und daraus eine noch stärkere Marke schaffen, die Essenz Lateinamerikas“, erklärt Aufsichtsratschef Mauricio Amaro. Anders als Gruppierungen wie Air France/KLM oder IAG (British Airways und Iberia), deren Gesellschaften weiter unter separaten Identitäten fliegen, hat LATAM nach Kundenumfragen in zehn Ländern den Start in die Vereinheitlichung beschlossen. „Dies ist das erste Mal, dass sich eine Airline-Gruppe für die Konsolidierung unter einer Marke entscheidet, und das erste Mal, dass eine lateinamerikanische Gruppe eine der besten der Welt werden möchte“, so Amaro. Rund 40 Millionen US-Dollar wird die Umfirmierung kosten, vor allem die Umlackierung der über 300 Flugzeuge.

LATAM setzt stark auf Airbus-Jets, derzeit stammen rund 250 der bald über 330 Flugzeuge der Gruppe von dem europäischen Hersteller. TAM ist Launch Customer für den Airbus A350 in Lateinamerika, der erste Liniendienst fand Anfang 2016 statt. Insgesamt 27 bestellte A350-900 und -1000 sollen bei TAM die älteren A330-200 ersetzen. LAN hingegen wurde 2012 zum Erstbetreiber der Boeing 787 in Südamerika, insgesamt wird die 787-8- und -9-Flotte künftig 32 Dreamliner umfassen. Beide Gesellschaften zusammen verfügen außerdem über 43 Boeing 767-300ER. Unter der gemeinsamen Marke sollen die Flotte, aber auch das Streckennetz weiter optimiert werden. Die Vision ist klar: „LATAM hat eine in der Branche einzigartige Partnerschaft geschaffen, aus der die größte Airline-Gruppe in der Region hervorgeht“, sagt CEO Enrique Cueto, „LATAM wird eine Marke sein, deren Kultur darauf ausgerichtet ist, dem Kunden zu dienen.“ ✈️



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

### *Die MTU an der Seite von LATAM*

Ein wichtiger Garant für den Erfolg von LAN und TAM war stets die MTU Maintenance, die bereits seit 1999 V2500-Triebwerke der TAM A320-Familie instand setzt sowie seit diesem Jahr auch GE90-Antriebe der Boeing 777-Flotte. Bis 2013 betrieb LAN eine Teilflotte der Airbus A318 mit den von der MTU Aero Engines mit entwickelten und gefertigten PW6000-Triebwerken.

„Die Zusammenarbeit wurde kontinuierlich ausgebaut“, sagt Christoph Heck, VP Marketing & Sales The Americas bei der MTU Maintenance, der seit langem engen Kontakt zum Kunden hält. „Die MTU ist stolz, ihren Beitrag zu dieser Erfolgsgeschichte geleistet zu haben. Die Fusion ändert für uns nichts, weil wir seit langem zu beiden Airlines ausgezeichnete Kontakte haben und dies fortführen.“ Die V2500-Triebwerke gelangen aus São Paulo und Santiago per Luftfracht zur MTU Maintenance in Hannover. „Der Kunde honoriert die Anstrengungen der gesamten Mannschaft hier“, freut sich Christoph Heck.




---

#### TRIEBWERKE BEI LATAM

---



#### **V2500** **Rückgrat der A320-Flotte**

*Vor allem TAM setzt in der A320-Flotte das V2500 ein, an dessen Fertigung die MTU beteiligt ist. Seit 1999 betreut die MTU Maintenance zudem die Triebwerke.*



#### **GE90** **Kraftpaket für Luftfracht**

*Seit diesem Jahr hält die MTU Maintenance die GE90-Triebwerke der B777-Frachter von LAN instand.*

---



**Weitgereist** — Zur Instandhaltung fliegen V2500- und GE90-Triebwerke der LATAM-Gruppe nach Hannover. Hier warten sie auf ihren Testlauf bei der MTU Maintenance, bevor es wieder zurück zum Einsatz irgendwo in Lateinamerika geht.



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.

# Zusammen hochlaufen

*Die GF Machining Solutions GmbH als Division der Georg Fischer AG gehört zu den weltweit führenden Maschinenlieferanten für den Werkzeug- und Formenbau sowie die Fertigung von Präzisionsteilen. Der Begriff „Solutions“ steht dabei nicht nur im Namen – er ist eine Maxime.*

**Autor:** *Thorsten Rienth*





## +GF+

**Power-Station** — Die Mikron HPM 800U-Fräsmaschine von GF Machining Solutions kann für die Bearbeitung verschiedener Bauteiltypen adaptiert werden, so dass sämtliche Blisks der GTF-Triebwerke auf einer Einheit gefertigt werden können.

Am Ende müssen alle gleich sein. Hundertprozentig gleiche Hochgeschwindigkeitsfräsmaschinen. Jeder verbaute Schlauch, jede Schraube, jede Platine, jeder kleine Motor, sogar die Software. „Wir sind auf absolut präzise Reproduzierbarkeit angewiesen“, erklärt Walter Sürth. „Nur wenn Maschinen exakt baugleich sind, liefern sie auch exakt gleiche Ergebnisse.“ Der Mann, der bei der MTU Aero Engines in München die Bliskproduktion leitet, ist penibel. Das ist Absicht, hantiert er doch mit Toleranzen in der Größenordnung von Hundertstel Millimetern.

### Eine einzige Maschine für alle Adaptionen

Nicht nur müssen seine Fräsmaschinen immer exakt gleiche Ergebnisse produzieren. Das müssen sie auch noch ziemlich schnell und höchst zuverlässig. Die Blisks kommen vor allem in der neuen PurePower®-Triebwerksfamilie PW1000G von Pratt & Whitney mit Geared Turbofan™-Technologie (GTF) zum Einsatz. Und

deren Hochlauf ist gewaltig: Vor kurzer Zeit noch produzierte die MTU etwa 600 dieser Bauteile im Jahr. Zum Jahresende 2016 soll die Fertigungsfähigkeit schon bei 3.500 liegen.

Die Mikron HPM 800U-Fräsmaschinen von GF Machining Solutions sind so etwas wie die Lebensversicherung des Hochlaufs. „Durch diesen Maschinentyp sind wir in der Lage, sämtliche Blisks der GTF-Programme auf einer einzigen Einheit herzustellen. Normalerweise braucht man für jeden Anwendungsfall die passend adaptierte Maschine“, ordnet Sürth ein.

Diese Eigenschaften machen die Mikron HPM 800U mit zum modernsten, was das Portfolio der Maschinenbauer zu bieten hat. Wobei Portfolio eigentlich die falsche Bezeichnung ist. „Die Maschinen sind an die speziellen Anforderungen der Blisk-Fertigung bei der MTU angepasst“, erklärt Michel Eder, der Key Account-Manager bei GF Machining Solutions für

die MTU. Die Fräsbearbeitungszentren werden durch den Maschinenkörper automatisch bestückt, ohne Einschränkung der Zugänglichkeit für die Bediener - eine ideale Anbindung an das automatische Beladesystem des Münchner Blisk-Kompetenzzentrums.

Zum Jahresende 2011 stand dort der erste LKW mit einer Mikron HPM 800U vor der Halle. Sukzessive werden 24 von ihnen angeliefert, erprobt und schließlich industrialisiert. Ende 2016 soll der Maschinenpark komplett sein - und das Kompetenzzentrum voll. Mindestens bis dahin pendelt Eder zwischen Schorndorf und München und begleitet die Industrialisierung der Maschinen.

Die ersten auf ihnen produzierten Teile fliegen bereits. Das PW1100G-JM ist der Antrieb der Anfang des Jahres bei der Deutschen Lufthansa in den Liniendienst gestellten Airbus A320neo. An der CSeries von Bombardier, die im Laufe des Jahres ebenfalls in den Liniendienst

*„Wir sind auf absolut präzise Reproduzierbarkeit angewiesen. Nur wenn Maschinen exakt baugleich sind, liefern sie auch exakt gleiche Ergebnisse.“*

**Walter Sürth**

Leiter Produktion Blisk, MTU Aero Engines



**Maschine im Einsatz** \_\_\_\_\_ Insgesamt 24 Mikron HPM 800U-Fräsmaschinen werden ab Ende 2016 bei der MTU Aero Engines laufen.

gehen soll, und am Mitsubishi Regional Jet (MRJ) befinden sich Derivate des Triebwerks in der Flugerprobung. Auch die E-Jets der zweiten Generation von Embraer und die MS-21 des russischen Herstellers Irkut werden mit PW1000G-Antrieben fliegen und sind mitten in der Entwicklung.

### Fertigungslösungen leben

GF Machining Solutions ist eine von drei Divisionen des Schweizer Industriekonzerne Georg Fischer AG. Zuletzt erwirtschafteten die rund 3.000 Mitarbeiter dieser Division an 50 Standorten einen Jahresumsatz von etwa 900 Millionen Euro. Sich selbst bezeichnet das Unternehmen als weltweit führenden Anbieter von Maschinen, Automatisierungslösungen und Serviceleistungen für den Formen- und Werkzeugbau sowie für die Fertigung von Präzisionsteilen.

Die Schweizer entwickeln und produzieren die dafür nötigen Elektroerosions-, Hochgeschwindigkeits- und Hochleistungsfräsmaschinen sowie 3D-Lasermaschinen für Oberflächenstrukturierungen. Dazu liefern sie alles, was für den Betrieb der Anlagen benötigt wird: Ersatz- und Verschleißteile, Verbrauchsmaterialien wie Drähte, Elektroden sowie Filter und Graphit. Und eben Automationslösungen. „Dabei tragen wir den Begriff ‚Solutions‘ nicht nur im Namen, sondern leben diese Lösungen Tag für Tag“, sagt Geschäftsführer Heiko Benz. „Wir verstehen uns nicht nur als Maschinenlieferant. Der Lösungsansatz steht im Vordergrund.“

Damit haben es die Schweizer in der Fertigungsindustrie bei so ziemlich jedem in die Hallen geschafft, der Rang und Namen hat. Beim BMW Werkzeug- und Formenbau etwa sind seit Anfang 2012

zwei ihrer Fräsbearbeitungszentren im Dauereinsatz. Ausgestattet mit Palettenmagazinen, Werkzeugwechslern und Nullpunkt-Spannsystemen gliedern sie nicht produktive Prozesse wie Rüst- und Spannvorgänge oder die Werkzeugeinstellung aus der Hauptzeit in parallele Einheiten aus. Das Balinger Familienunternehmen Otto Klumpp GmbH, das Spritzgussartikel aus Kunststoff und Spritzgusswerkzeuge vertreibt, nahm unlängst eine vollautomatische und autonome Linearzelle in Betrieb. Ein Linearroboter verbindet in ihr eine Fräs- mit einer Erodiermaschine. Die Steuerung übernimmt eine gemeinsame „CellManager“-Software. Das Unternehmen fährt die Anlage im Dreischichtbetrieb; zwei Schichten davon bedienerlos.



Längst geht es bei GF Machining Solutions nicht mehr nur um die bloße Produktion von Maschinen. „Der Anspruch ist, innovativer Vorreiter zu sein“, sagt Geschäftsführer Benz. Zum Beispiel bei der Funkenerosion. Mit dem Verfahren lassen sich leitfähige Werkstoffe beliebiger Härte und mit höchster Oberflächenqualität bearbeiten.

Gerade lanciert GF Machining Solutions mit dem System „rConnect“ eine zentrale Kommunikationsplattform für Fräsen, Funkenerodierung und Lasertexturierung. Dahinter verbirgt sich ein Remote-Analysesystem für die Werkzeugmaschinenindustrie. Herstellern ermöglicht es eine autorisierte Fernassistenz durch die jeweiligen Standorte der GF-Division. „Smart Factory“, „Industrie 4.0“ und die Minimierung von Stillstandzeiten sind die Stichworte. Natürlich auch hier wieder maßgeblich: ein möglichst hohes Level der Individualisierung.

### Spezifische Anforderungen benötigen spezifische Maschinen

Bei der MTU Aero Engines betrifft sie nicht nur die nahtlose Integration von Maschinen und Beladungssystem. „In der Luftfahrt sind die Anforderungen an die Dokumentation der einzelnen Fertigungsschritte extrem hoch“, erklärt Key Account-Manager Eder. Gleiches gelte für die Sicherheitsanforderungen und die Laufzeiten der Maschinen. Bis auf die letzte Minute seien sie praktisch ausgelastet. „Wir haben eine Laufzeit von 6.000 Arbeitsstunden pro Maschine und Jahr vereinbart“, das entspricht 250 Tagen Dauerbetrieb. „Dieses Versprechen haben wir eingelöst.“ ✈️

**Blisk** — Blisk ist die englischsprachige Kurzform für „Blade Integrated Disk“. Die Bauteile kommen in Form von Stufen in modernen Niederdruck- und Hochdruckverdichtern zum Einsatz. Anstatt Scheibe und Schaufeln zusammenzustecken, werden Blisks integral aus einem einzigen Rohteil herausgearbeitet. Diese Vorgehensweise reduziert das Gewicht der Teile und macht sie stabiler – wegen der gestiegenen Komplexität aber auch deutlich schwieriger herzustellen. In Zukunft könnte die Bauweise auch bei der Produktion von Turbinenstufen angewendet werden.



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.



# Bauhaus

# Luftfahrt

## Zwischen zwei Welten

*Um die Zukunft der Luftfahrt ein Stück weit voranzusehen, brauche es einerseits Kreativität und Fantasie, andererseits ausgeprägte wissenschaftliche Genauigkeit, sagt Professor Mirko Hornung vom Bauhaus Luftfahrt.*

**Autor:** Denis Dilba



**Professor Dr.-Ing. Mirko Hornung** \_\_\_\_\_

*Vorstand Wissenschaft und Technik, Bauhaus Luftfahrt e. V.,  
und Professor für Luftfahrtsysteme an der Technischen  
Universität München*

Zeitgleich mit seiner Berufung an den Lehrstuhl für Luftfahrtsysteme an der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München wurde der heute 44-Jährige 2010 Vorstand des Bauhaus Luftfahrt. Als Wissenschaftler und Dozent beschäftigt er sich mit Flugzeugentwurf, Flugzeugintegration und -bewertung. Studiert und promoviert hat er im Fachbereich Luftfahrttechnik an der Universität der Bundeswehr in Neubiberg bei München. Seine 2003 abgeschlossene Promotion über wiederverwendbare Raumtransportsysteme wurde ausgezeichnet. Bis 2009 war er danach bei EADS (heute Airbus) unter anderem in der Vorentwicklung zukünftiger Luftfahrtsysteme tätig.

*„Es macht doch nur Sinn, eine neue Flugzeugkonfiguration zu entwickeln, wenn diese insgesamt einen signifikanten Vorteil gegenüber der bekannten hat.“*

***Seit Jahrzehnten werden in Zukunftsvisionen immer wieder abenteuerliche Fluggeräte präsentiert, die eher Rochen, Pfeilen oder gar fliegenden Untertassen ähneln. Die Flugzeuge von heute sehen aber weitgehend immer noch so aus wie zu Beginn der kommerziellen Luftfahrt. Wann ändert sich das?***

**Prof. Mirko Hornung:** Die Frage ist doch: Muss sich das zwangsläufig ändern? Es macht doch nur Sinn, eine neue Flugzeugkonfiguration zu entwickeln, wenn diese insgesamt einen signifikanten Vorteil gegenüber der bekannten hat. Und darum sehen Flugzeuge heute immer noch ähnlich aus. Andere Konfigurationen sind eben nicht so viel besser, dass sich eine Umsetzung bisher wirklich gelohnt hätte. Wenn wir nur über ein paar Prozent Verbesserung reden, kann man das in der Regel auch über kontinuierliche Verbesserung erreichen. Dazu muss man auch klar sagen, dass die Branche nicht untätig war. Denn während sich im Äußeren seit der Boeing 707 im Wesentlichen nicht sehr viel verändert zu haben scheint, gilt das für das Innere eines Flugzeugs überhaupt nicht. In den



letzten sieben Dekaden haben wir unsere Luftfahrzeuge intensiv verbessert. Wir haben seitdem den Kraftstoffverbrauch um fast 70 Prozent reduziert gegenüber den ersten Passagierjets wie der Boeing 707.

**Welche Forschungsschwerpunkte und technologischen Entwicklungen werden denn Ihrer Einschätzung nach die Luftfahrt in den kommenden beiden Jahrzehnten bestimmen?**

**Hornung:** Die Luftverkehrsflotte wird sich allen Prognosen nach bis 2050 verdreifachen. Die Ziele, also 75 Prozent weniger CO<sub>2</sub>-Ausstoß, deutlich weniger Stickoxidemissionen und Lärmreduktion, sind gesetzt. Daraus ergeben sich die verschiedensten Themen. Das Flugzeug selbst ist da nur ein Teil des Gesamtpuzzles, da spielen auch die Flughäfen mit hinein, die Kraftstoffversorgung und das gesamte Verkehrssystem. Ein treibendes Element wird sicherlich die Weiterentwicklung von Energie- und Antriebssystemen sein. Da gibt es sehr vielversprechende Technologieansätze, die wir uns auch in Zusammenarbeit mit der MTU Aero Engines intensiv an-

schauen. Wir haben etwa gerade neue Kreisprozesse untersucht, so genannte Composite Cycles, in denen unterschiedliche thermodynamische Zyklen zusammengebracht werden, um den Wirkungsgrad eines Triebwerks noch einmal drastisch zu verbessern. Da scheint noch sehr viel Potenzial drin zu sein. Auch elektrisch-hybride Antriebe, also die Kombination von Elektro- und Verbrennungsmotoren, sind natürlich ein Thema bei uns. In dem Bereich hat man vor ein paar Jahren noch gesagt: Funktioniert nicht für ein größeres Flugzeug. Diese Aussage kann man heute nicht mehr so stehen lassen.

**Moment, das heißt, Sie sagen: Elektrisch-hybride Antriebe funktionieren für ein großes Passagierflugzeug?**

**Hornung:** Ja, theoretisch. Da muss man genau hinschauen. Es ist nachgewiesen worden, dass es grundsätzlich gehen würde. Eine der wesentlichen Aufgaben ist es jetzt zu schauen, wie wir die einzelnen Komponenten und Technologien weiterentwickeln müssen, was also dafür nötig ist, damit so ein elektrisch-hybrider Antrieb auch einen Vorteil für den Betrieb



eines Flugzeugs bedeuten würde. Hierzu fehlt aktuell ein detailliertes Verständnis der dafür notwendigen Komponenten wie Batterien, Generatoren, Elektromotoren und angepasste Turbokomponenten.

***Sie sprachen auch an, dass Flughäfen und die Infrastruktur rund um das Fliegen weiterentwickelt werden müssen.***

**Hornung:** Ja, wir untersuchen zum Beispiel, inwieweit in der Bodenabfertigung von Flugzeugen, in der Wechselwirkung mit den Terminals und mit der Flughafeninfrastruktur noch Verbesserungen möglich sind. Das hängt auch mit den künftigen Größen der Flugzeuge zusammen. Ein anderes Thema, vor allem für Metropolen um die zehn Millionen Einwohner und mehr: Wie bekommen wir die Flughäfen wieder weiter ins Zentrum der Stadt? Heutzutage liegen sie in der Regel weit außerhalb. Das heißt: Der wesentliche Anteil des Verkehrs von Tür zu Tür ist der Weg zum und vom Flughafen. Gerade der Bodentransport wird in solchen Großstädten aber immer langsamer. Insgesamt führt diese Entwicklung dazu, dass der Luftverkehr

auf kürzeren und mittleren Strecken an Konkurrenzfähigkeit verliert. Wie können wir das ändern? Ein wesentlicher Treiber wird da das Thema Lärmreduktion sein. Nur wenn Flugzeuge leiser werden, steigt die Akzeptanz für Flughäfen, die wieder näher an den Wohn- und Geschäftsgebieten sind und kürzere Vorlaufzeiten haben.

***Könnte man zur Lärmreduktion nicht einfach Flugzeuge entwickeln, die senkrecht starten? So wie der Harrier-Jet?***

**Hornung:** Die kurze Antwort: Könnte man schon, aber ich kann die Physik nicht austricksen. Ich muss den Schub zum Senkrechtstart erzeugen. Das ist wiederum lokal sehr laut und verbraucht auch deutlich mehr Kerosin als heutige An- und Abflüge. Ein Senkrechtstart müsste ökologisch und ökonomisch vergleichbar mit heutigen Lösungen sein. Für die breite Masse wird daher kein Potenzial gesehen.

***Einige der Konzepte, die Sie bei Bauhaus Luftfahrt erarbeiten, werden nie – oder zumindest anders***

*„Wir wollen Technologien untersuchen und verstehen, wo ihr Potenzial für die Luftfahrt liegt. So schaffen wir ein Bewusstsein dafür und liefern Denkanstöße – außerhalb der gewohnten Entwicklungsumgebung eines Unternehmens.“*



***als gedacht – kommen. Ich kann mir gut vorstellen, dass dann auch schnell die kritische Frage im Raum steht: Wozu soll das gut sein?***

**Hornung:** Die Diskussion kommt in der Tat immer wieder. Unser Anspruch ist eben nicht zu sagen, dieses oder jenes wird oder muss das nächste Produkt sein. Wir wollen Technologien untersuchen und verstehen, wo ihr Potenzial für die Luftfahrt liegt. Diese Erkenntnisse kommunizieren wir dann. So schaffen wir ein Bewusstsein dafür und liefern Denkanstöße – außerhalb der gewohnten Entwicklungsumgebung eines Unternehmens. Unsere Aufgabe ist aufzuzeigen, dass es noch sehr viele ungelöste Probleme in der Luftfahrt gibt. Aber eben auch, dass es dafür mögliche Lösungsansätze gibt.

***Können die betreffenden Unternehmen diese Lösungsansätze nicht besser selbst finden?***

**Hornung:** Eine Sache auszuprobieren ist innerhalb eines Firmenkontexts extrem schwierig. Sobald man eine Technologie untersucht und das kommuniziert, interpretiert jeder: Das wird

das nächste Produkt dieser Firma. Es ist aber eine Machbarkeitsstudie. Und das hat noch nicht zwingend etwas mit einem Produkt zu tun. Das muss man sauber trennen. Ein zweiter Aspekt, den wir auch immer wieder feststellen: Die Diskussion mit anderen Industriebereichen, von denen man Technologien übernehmen oder adaptieren könnte, ist für eine unabhängige und eigenständige Forschungseinrichtung deutlich einfacher, als wenn da ein unmittelbares Firmeninteresse dahinter steht.

***Um innovative Lösungsansätze entwickeln zu können, müssen Sie die Probleme aus den unterschiedlichsten Blickwinkeln betrachten. Braucht Bauhaus Luftfahrt da nicht einen ganzen Haufen verschiedenster Experten?***

**Hornung:** Genauso sieht das hier aus. Wir haben ein wirklich buntes Expertenpotpourri: Sozialwissenschaftler, Ethnologen, Ökonomen, Geographen, Ingenieure der verschiedensten Disziplinen, Physiker, Chemiker. Jeder bringt seine wissenschaftliche Expertise und eigene Sichtweise mit. Die muss übrigens erstmal nichts mit der Luftfahrt zu tun haben. Gemeinsam ist



*„Ich muss eigentlich immer zwischen diesen zwei Welten hin- und herspringen. Es ist das eine, eine Idee zu haben – in einem kreativen spontanen Prozess. Diese Idee, dieses Konzept oder diesen Technologieansatz dann auf seine Anwendbarkeit und auch sein Potenzial zu untersuchen, also zu klären, was man damit konkret tun kann, das ist harte wissenschaftliche Arbeit.“*

---

**Prof. Dr.-Ing. Mirko Hornung,**  
Vorstand Wissenschaft und Technik, Bauhaus Luftfahrt e. V.

---

aber allen Mitarbeitern, dass sie wissenschaftlich arbeiten können, in ihren Bereichen Technologien, Ansätze und Theorien verstehen und in einen anderen Kontext bringen können.

#### **Das heißt konkret?**

**Hornung:** Das Team beobachtet gesellschaftliche Trends, sozioökonomische Randbedingungen und wissenschaftliche Veröffentlichungen von neuen Technologien, versucht sie zu verstehen, zu bewerten und dann zu übertragen, was das für eine Auswirkung auf die Luftfahrt haben könnte. Was kann man beispielsweise mit einer Technologie, mit diesen und jenen Kerneigenschaften, machen? Haben wir ein Problemfeld in der Luftfahrt, wo wir sie gewinn- und nutzbringend unterbringen könnten, wenn sie bestimmte Anforderungen erfüllt?

**Einerseits muss man also der Kreativität freien Lauf lassen können, frühzeitig Technologieansätze und deren Einsatzmöglichkeiten erkennen – andererseits dann wissenschaftlich akkurat**

#### **analysieren, was zum aktuellen Stand der Technik wirklich möglich ist ...**

**Hornung:** ... und das ist die Herausforderung. Ich muss eigentlich immer zwischen diesen zwei Welten hin- und herspringen. Es ist das eine, eine Idee zu haben – in einem kreativen spontanen Prozess. Diese Idee, dieses Konzept oder diesen Technologieansatz dann auf seine Anwendbarkeit und auch sein Potenzial zu untersuchen, also zu klären, was man damit konkret tun kann, das ist harte wissenschaftliche Arbeit. Diese Arbeitsweise ist sehr herausfordernd, aber auch sehr spannend.

#### **Haben Sie da ein aktuelles Beispiel?**

**Hornung:** Die Energierückgewinnung in Triebwerken über thermoelektrische Elemente. Wir sind vor Jahren auf die Technologie aufmerksam geworden und haben sie näher angeschaut. Interessant, aber in den Wirkungsgraden so niedrig, dass sie für Anwendungen im Flugzeug weitgehend nutzlos war. Unsere damalige Analyse hat aber auch ergeben: Wenn



**Bauhaus Luftfahrt e. V.** — Der 2005 gegründete gemeinnützige Verein mit Sitz in Taufkirchen bei München begreift sich als interdisziplinärer Think Tank für die Zukunft von Mobilität und Luftfahrt. Rund 50 Mitarbeiter aus unterschiedlichen natur-, geistes- und sozialwissenschaftlichen Disziplinen entwickeln in enger Zusammenarbeit mit Forschung und Industrie, jedoch unabhängig von wirtschaftlichen Interessen, umfassende Zukunftsszenarien und -entwürfe für die europäische Luftfahrtbranche. Träger von Bauhaus Luftfahrt sind neben dem Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie die Airbus Group, IABG, Liebherr Aerospace und die MTU Aero Engines.

solche Thermogeneratoren, die aus Wärme Strom erzeugen können, irgendwann höhere Wirkungsgrade erreichen, dann wird es spannend. Und genau das ist in den letzten Jahren passiert. Eine aktuelle Forschungsarbeit im Rahmen des nationalen Luftfahrtforschungsprogramms hat jetzt gezeigt: Ja, die Energierückgewinnung in Triebwerken über thermoelektrische Elemente könnte heute einen Beitrag leisten. Man muss sich grundsätzlich einfach über die Hürde „das geht nicht“ hinwegsetzen. Auch beim Getriebefan hat man immer gesagt: Das funktioniert nicht. Zu komplex, zu teuer. Das bekommt man nicht haltbar, das kriegt man nicht zugelassen. Wir sehen aber jetzt: Es geht. Er fliegt. Diese Hürde kann also genommen werden.

***In Ihrem Beispiel wurden Technologien über längere Zeiträume bis zur Einsatzfähigkeit entwickelt. Könnten Flugzeuge irgendwann einmal nicht doch ganz anders aussehen als heute?***

**Hornung:** Wie gesagt: Wenn es eine Technologie gibt, die eine Änderung rechtfertigt, dann ja. Elektrische oder hybride Antriebssysteme könnten eine erhebliche Veränderung des Flugzeuglayouts bedeuten. Bis dahin müssen wir aber noch etliche technologische Herausforderungen meistern. Vielleicht gibt es noch andere Technologien, die wir heute noch nicht kennen. Eines kann ich aber versprechen: Wir halten die Augen offen. ✈️



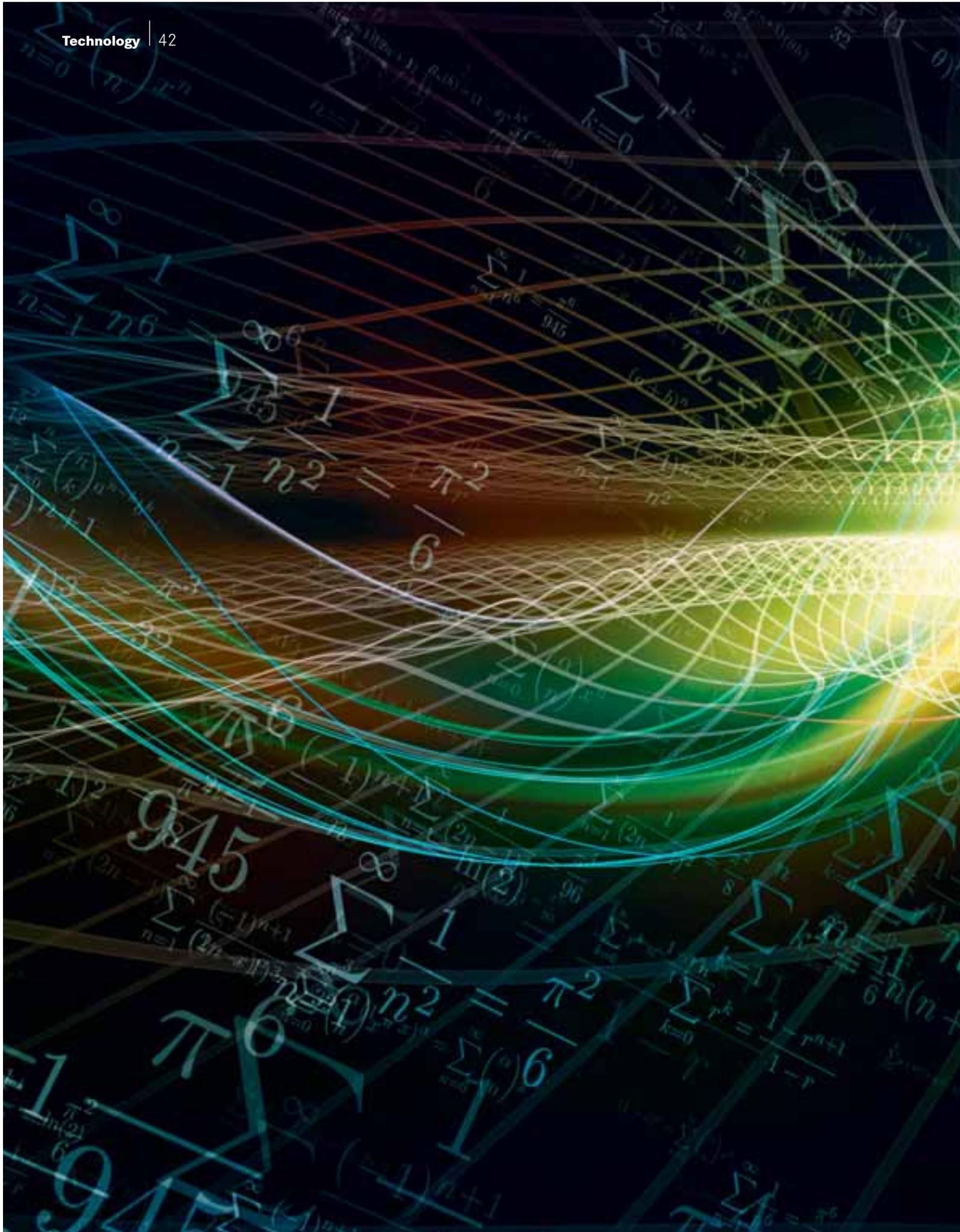
Fragen, Wünsche, Anregungen? Hier erreichen Sie die Redaktion:  
[aeroreport@mtu.de](mailto:aeroreport@mtu.de)



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



Autor:  
**Denis Dilba** studierte Mechatronik, besuchte die Deutsche Journalistenschule und gründete das digitale Wissenschaftsmagazin Substanz. Er schreibt über verschiedenste Themen aus Technik und Wissenschaft.



# Mausklick statt Trial and Error

*Simulationsverfahren verändern Entwicklung und Produktion – auch in der Luftfahrtindustrie. Dank virtueller Fertigung werden Prozesse schneller, effizienter und ökonomischer.*

**Autorin:** Monika Weiner

Jede Kerbe kostet Geld. Damit ein Triebwerk die optimale Leistung erbringt, müssen die Oberflächen der Turbinenbauteile spiegelglatt sein. Schon feinste Unebenheiten erzeugen störende Turbulenzen, wenn die verdichtete Luft mit bis zu mehreren hundert Stundenkilometern darüber strömt. Auch bei der Fertigung der Blade Integrated Disks, kurz Blisks, ist höchste Präzision gefordert. Eine echte Herausforderung: Aus Titan-Scheiben mit mehr als einem Meter Durchmesser muss eine komplizierte Geometrie herausgefräst werden. „Schon minimale Schwingungen des Fräskopfs hinterlassen in der Oberfläche Riefen, die man nur durch aufwändige Nachbearbeitung eliminieren kann. Im schlimmsten Fall ist die ganze Blisk unbrauchbar – Ausschuss im Wert eines Kleinwagens“, erklärt Thomas Dautl, Leiter der Abteilung Fertigungstechnologien bei der MTU Aero Engines.

Die Rattermarken, die der Fräser hinterließ, haben ihm jahrelang Probleme bereitet: „Manche Blisks waren betroffen, manche nicht – niemand konnte sich das erklären.“ Erst als die Simulations-Experten sich der Sache annahmen, wurde das Rätsel gelöst: Mit Hilfe von Computermodellen fanden sie heraus, dass die Rotation des Fräskopfs Resonanzen in der Titanscheibe auslösen kann. Winzige Unterschiede in der Geometrie und der Zusammensetzung der

Scheibe entscheiden darüber, ob sie zu schwingen beginnt und den Fräskopf von seiner vorgegebenen Spur ablenken. Die Simulationen zeigten auch, wie sich die unerwünschten Resonanzen verhindern lassen, beispielsweise durch den Einbau von Dämpfungselementen oder einer Veränderung der Bearbeitungsgeschwindigkeit. Die Produktion setzte diese Empfehlungen um und siehe da: Der Fräser hinterließ keine Rattermarken mehr.

### Schlüsseltechnologie der Luftfahrtindustrie

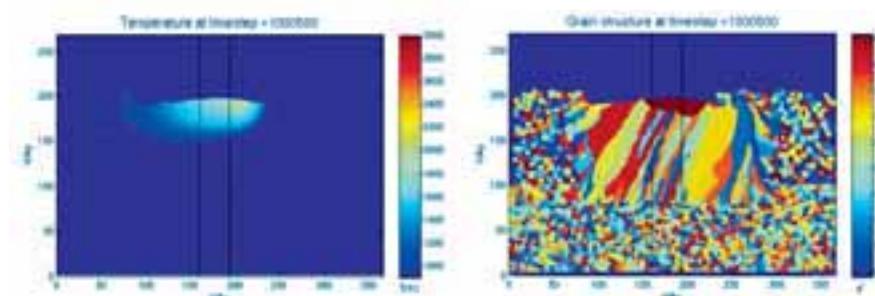
Computerprogramme statt Trial and Error. Simulationen werden heute in der Luftfahrt routinemäßig eingesetzt, um die Aerodynamik von Flugzeugen zu optimieren, den Spritverbrauch zu senken, die Geräuschbelastung zu verringern, die Sicherheit zu erhöhen, Materialauswahl und Produktionsprozesse effizienter zu machen. „Numerische Simulationen sind eine Schlüsseltechnologie der Luftfahrt. Sie sind unersetzlich, wenn es darum geht, Triebwerke und Flugzeuge zu entwickeln, zu optimieren und schneller auf den Markt zu bringen“, erklärt Dr. Edmund Kügeler, Abteilungsleiter Numerische Methoden des Instituts für Antriebstechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt DLR. „Verglichen mit dem klassischen Prüfstand haben Simulationen den Vorteil, dass sie kostengünstig sind: Man kann am Rechner Designs und Parameter durchrech-

nen, ohne kostspielige Versuchsobjekte bauen und teure Experimente durchführen zu müssen. Mit Simulations- und Optimierungstechniken lassen sich automatisiert im Computer optimale Lösungen finden.“

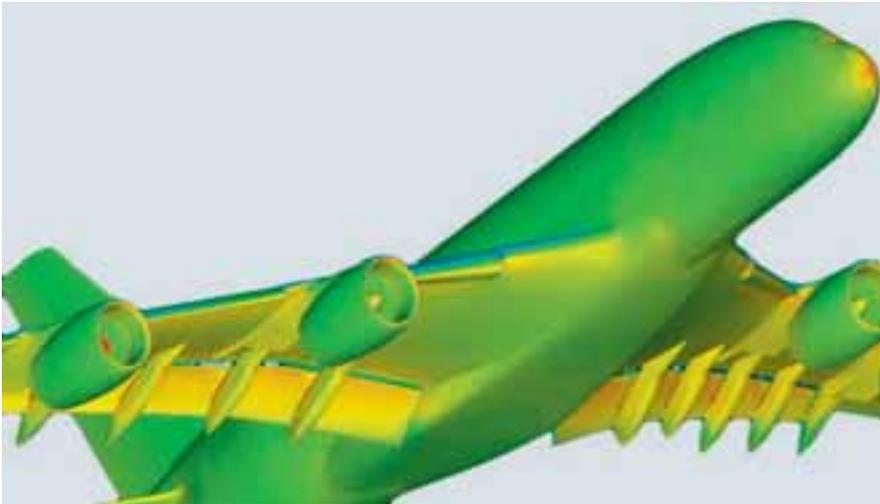
Bei der MTU werden Softwaretools schon seit Jahren eingesetzt, um Probleme mit Eigenschwingung zu lösen. Traditionell lassen sich mit Hilfe von Simulationen allerdings nur einzelne Fertigungsschritte darstellen. „Für die verschiedenen Aufgaben gibt es spezielle Tools, die unterschiedlich detailliert und meist nicht kompatibel sind“, weiß Thomas Göhler, Spezialist für Computergestützte Analyse in der Werkstoffentwicklung bei der MTU. „Weil ein Austausch zwischen den einzelnen Simulationsschritten kaum möglich ist, können wichtige Informationen nicht genutzt werden: Die Materialeigenschaften der Titan-Scheibe beispielsweise sind nicht nur wichtig für die Steuerung des Fräasers, sondern haben auch Auswirkungen auf die Performance der Blisk.“

„Tatsächlich steckt in den Simulationstechniken viel mehr Potenzial als bisher genutzt wird“, davon ist auch Dr. Andreas Fischersworing-Bunk, Leiter Werkstoff- und Schadensmodellierung, überzeugt. „Man könnte die Effizienz im Triebwerksbau enorm steigern, wenn es gelingen würde, den gesamten Fertigungsprozess von der Materialentwicklung bis zur

## SIMULATION VON ADDITIVER FERTIGUNG



**Mischtest** — In der Simulation eines additiv gefertigten Bauteils kann die Homogenität der Elemente im Metall bei additiven Fertigungsverfahren getestet werden.



**Numerische Simulation** \_\_\_\_\_  
 Simulierte Druckverteilung für ein Verkehrsflugzeug im Landeanflug.

*„Numerische Simulationen sind eine Schlüsseltechnologie der Luftfahrt. Sie sind unersetzlich, wenn es darum geht, Triebwerke und Flugzeuge zu entwickeln, zu optimieren und schneller auf den Markt zu bringen.“*

---

**Dr. Edmund Kügeler,**  
 Institut für Antriebstechnik des DLR

---

finalen Prüfung darzustellen und zu optimieren.“ Um dieses Ziel zu erreichen, arbeitet er zusammen mit einem interdisziplinären Team an einem neuen, systemübergreifenden Ansatz.

### **Ergebnisse aus Einzelsimulationen verknüpfen**

Die Zauberformel heißt ICM<sup>2</sup>E, kurz für Integrated Computational Materials and Manufacturing Engineering. Weltweit nutzen Forscher diese noch neue Methode, um die Materialentwicklung und Fertigung zu optimieren, indem sie

Ergebnisse aus Einzelsimulationen verknüpfen. Das Ziel: alle Parameter von der Werkstoffentwicklung über den gesamten Produktionsprozess so aufeinander abzustimmen, dass am Ende ein Bauteil herauskommt, das exakt die gewünschten Eigenschaften hat.

Um das ICM<sup>2</sup>E-Konzept an die Anforderungen des Triebwerksbauers MTU anzupassen, mussten Thomas Göhler und das Projekt-Team Pionierarbeit leisten. Der Erfolg kann sich im wahrsten Sinn des Wortes sehen lassen: Auf dem

Bildschirm im Büro des Werkstoffkundlers rast ein virtueller Laserstrahl über virtuelles Metallpulver. Blaue Körnchen schmelzen auf und wachsen zusammen. Nur ganz selten bilden sich rote Punkte – winzige, nur wenige Mikrometergroße Inhomogenitäten. Schicht für Schicht entsteht ein Bauteil. Zu langsam? Mit einem Mausklick verdoppelt Göhler die Geschwindigkeit und schon geht alles viel schneller. Allerdings entstehen jetzt größere rote Flecken, Einschlüsse, in denen das Pulver nicht aufgeschmolzen wurde. Dank eines neuen Simulations-

- 01 — *Computersimulation von Wirbeln an den Rotorblättern eines Helikopters.*
- 02 — *Numerische Strömungssimulation an einer Airbus A380.*
- 03 — *Simulation der Temperaturverteilung in einer zweistufigen Niederdruckturbine.*
- 04 — *Simulation von Turbulenzen in einer zweistufigen Niederdruckturbine.*



tools, das Göhlers Team zusammen mit Forschern vom Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM entwickelt hat, werden jetzt erstmals die Auswirkungen von Laserenergie und Geschwindigkeit auf die Materialeigenschaften sichtbar. Korngrößen und Fehlerzahl, die bei dieser Simulation ermittelt wurden, exportiert der Doktorand Tobias Maiwald-Immer in das nächste Computerprogramm, das die Struktur des Werkstoffs visualisiert. Jetzt kann man zusehen, wie die Kristalle wachsen: „Durch Kombination der verschiedenen Simulationstools lässt sich erstmals zeigen, wie Fertigungsparameter beim Lasersintern die Festigkeit beziehungsweise Elastizität des Materials beeinflussen“, so Göhler.

### Maschineneinstellung aus dem Computermodell

Das Bauteil, das auf seinem Bildschirm langsam Form annimmt, gibt es wirklich: Die MTU fertigt das Boroskopauge bereits serienmäßig additiv. Die optimalen Einstellungen der Maschine wurden aus

den Computermodellen übernommen. „Der Vergleich mit tatsächlich gefertigten Materialien zeigt, dass die Voraussagen qualitativ mit den Ergebnissen übereinstimmen, die die Sinteranlage liefert“, berichtet Fischersworing-Bunk.

Ein Erfolg ist das auch für den Projektpartner Dr. Dirk Helm, Geschäftsfeldleiter Fertigungsprozesse am Fraunhofer IWM: „Wir haben hier die Grundlagen entwickelt für die industrielle Anwendung von ICM<sup>2</sup>E und gezeigt, was dieser Ansatz leisten kann. Die Simulation macht deutlich, wie sich kleine Veränderungen innerhalb der Prozesskette auf die Materialeigenschaften auswirken. Daraus können wir genau ableiten, welche Fertigungsparameter notwendig sind, um ein Bauteil mit ganz bestimmten Eigenschaften herzustellen.“

Als nächstes wollen die Ingenieure bei der MTU simulieren, wie die einzelnen Fertigungsschritte die Qualität der fertigen Blinks beeinflussen: „Das ist eine

besondere Herausforderung, weil wir das Rohmaterial von externen Lieferanten bekommen, die miteinbezogen werden müssen“, betont Fischersworing-Bunk. „Nur diese können die Ausgangsdaten liefern, die wir brauchen, um die verschiedenen Bearbeitungsprozesse so zu optimieren, dass wir die erforderliche Belastbarkeit erreichen.“

### Simulationsgestützte Produkt- und Fertigungsentwicklung

Und das ist noch nicht alles: Mit integrierten Simulationen lässt sich auch berechnen, wie lange die Produktion von Bauteilen dauert, wo es Einsparungspotenziale gibt und wie die Maschinen optimal ausgelastet werden können. „Unser Ziel ist eine simulationsgestützte Produktentwicklung, die alles umfasst – von den mikroskopischen Materialeigenschaften über sämtliche Fertigungsschritte bis zum fertigen Triebwerk“, resümiert Dautl. Eine Herkulesaufgabe, wenn man bedenkt, dass 1.000 Bauteile berücksichtigt werden müssen. 

## Trends in der Simulationsentwicklung

	<b>Physikalisch-basierte Vorhersagen</b>	<b>Konfidenzbewertung</b>	<b>Automatisierung von Simulationen</b>	<b>Rechen-effizienz</b>	<b>Multidisziplinäre Analysen und Optimierungen</b>
<i>Ziel</i>	Abbildung realer Wechselwirkungen statt vereinfachter Korrelationen.	Zunehmende Substitution von Experimenten durch Simulationen.	Beschleunigung und Vereinfachung von Arbeitsprozessen, Multi-User-Anwendbarkeit.	Parallelisierung von Rechenvorgängen, effiziente Handhabung immer größerer Datenmengen.	Virtuelle Verknüpfung aller erforderlichen Fachdisziplinen zur Entwicklung und Herstellung von Turbinenbauteilen.
<i>Methode</i>	Berücksichtigung von Zusammensetzung, Herstellprozess, Mikrostruktur, inneren Fehlern, mechanischen Eigenschaften, Verarbeitbarkeit und Einsatzperformance von Werkstoffen.	Systematischer Abgleich von Ergebnissen aus Simulationen und Experimenten.	Verknüpfung von Simulationen, die aufeinander aufbauen, automatische Auswertungen.	Weiterentwicklung von Hardware und Software für parallelisierte, schnellere Rechnungen in Hochleistungsrechenzentren.	Virtuelle Verknüpfung aller erforderlichen Fachdisziplinen zur Entwicklung und Herstellung von Turbinenbauteilen.

## Simulation in der Luftfahrtindustrie und deren Einsatzgebiete

	<b>Flugzeug</b>	<b>Strukturmechanik</b>	<b>Antriebstechnik</b>
<i>Ziel</i>	Einsparungen bei der Entwicklung. Verbesserte Luftströmungen an Rumpf und Flügeln; Verringerung des Widerstands; Verhinderung von Turbulenzen.	Einsparungen bei der Entwicklung und beim Test neuer Materialien; Modellierung der Belastbarkeit von Verbund-Werkstoffen.	Einsparungen bei der Entwicklung. Verbesserte Materialeigenschaften; leistungsfähige, hocheffiziente und leise Triebwerke.
<i>Einsatzgebiete</i>	Aerodynamische Simulationen helfen die Form zu optimieren um den Luftwiderstand und den Spritverbrauch zu senken.	Simulationen erlauben die Berechnung der Form und Stabilität neuer, gewichtsparender Verbundmaterialien.	Mit Simulationen lassen sich einzelne Bauteile, aber auch komplexe Systeme optimieren: Durch Auswahl geeigneter Materialien und Fertigungsprozesse kann die erforderliche Belastbarkeit und Lebensdauer eines Bauteils sichergestellt werden.



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.

# Flexibel und stabil

*Die Instandhaltung von Flugzeugantrieben stellt hohe Anforderungen an das Produktionssystem im Shop, denn jeder Auftrag ist anders: moderne Produktionssteuerung bei der MTU Maintenance aus der Sicht eines Trainees.*

**Autorin:** Nicole Geffert

Kein Triebwerk gleicht dem anderen. Sie unterscheiden sich hinsichtlich ihres Typs, ihres Alters und der Bedingungen, unter denen sie eingesetzt werden. Folglich gibt es für die Instandhaltung keine einheitlichen Lösungen. Zerlegungstiefen und Reparaturbedarfe variieren, ebenso die Anforderungen der Kunden. Gleichzeitig sind für den Instandsetzungsbetrieb kurze Durchlaufzeiten und die pünktliche Auslieferung des Triebwerks unerlässlich.

„Das bedeutet: Unser Produktionssystem muss flexibel und stabil zugleich sein“, sagt Oliver Weller. Der Wirtschaftsingenieur mit Schwerpunkt Production Management ist Trainee in der Produktionsplanung und -steuerung bei der MTU Maintenance. Produktionssysteme in der Automobilindustrie hat er während seines Studiums analysiert. „Die Prozesse in der Instandsetzung von Triebwerken sind komplexer“, erläutert Weller. „Denn der mit dem Kunden abgestimmte Arbeitsumfang, der so genannte Workscope, ist bei jedem Triebwerk anders.“

Sollen komplette Triebwerke, Module oder Einzelteile repariert werden? Ist das Triebwerk zum regulären Check im Shop oder gab es Schäden infolge eines ungeplanten Zwischenfalls? Noch vor der Demontage wird das Triebwerk mittels Boroskopie auf verdeckte Schäden untersucht. Weller: „Finden unsere Spezialisten etwas



auffälliges, kann unser Kundenbetreuer frühzeitig mit dem Kunden Rücksprache halten und den Workscope entsprechend anpassen. Damit können wir den Shop Visit besser planen und steuern.“

Zum Beispiel die Kapazitäten: Wie viele Mitarbeiter mit welchen Qualifikationen sind für diesen Triebwerkstyp erforderlich? Welche Werkzeuge müssen bereit stehen? Welche Materialien und Ersatzteile kommen zum Einsatz? Werden Einzelteile zur Reparatur an externe Zulieferer verschickt? „Unsere größte Herausforderung ist, die Auslastung im Shop auf einem konstant hohen Niveau zu halten, um einen stabilen Prozess sicherzustellen“, sagt Weller.

Sämtliche Arbeitsabläufe und Prozesse sind klar definiert. An den MTU-Standorten Hannover und Ludwigsfelde wurde ein System von Produktion und Steuerung etabliert, das die individuellen Anforderungen jedes einzelnen Triebwerks mit aufeinander abgestimmten, getakteten Abläufen im Shop und in der Supply Chain kombiniert. „Das erwartet der Kunde. Schließlich soll das Triebwerk so schnell wie möglich zurück an den Flügel, damit das Flugzeug wieder eingesetzt werden kann.“

Doch es gibt Situationen, in denen Flexibilität gefordert ist. Weller nennt ein Beispiel: „Der Workscope sah bei einem Auf-

## Inside MTU — *Das Traineeprogramm der MTU Aero Engines*

Das Junior-Einstiegs- und Traineeprogramm, das die MTU an allen deutschen Standorten anbietet, richtet sich an Absolventen und Young Professionals mit hervorragendem Abschluss. Die Traineestellen werden immer für einen konkreten Zielbereich ausgeschrieben, das heißt: Die Bewerber wissen von Beginn an, in welchem Bereich sie nach dem 18-monatigen Programm eingesetzt werden. Sie erhalten einen individuellen Durchlaufplan mit Stationen an den künftigen Schnittstellen und werden entsprechend fachlich, methodisch und persönlich weiter entwickelt. Während der begleitenden JET-Qualifizierungsreihe haben die Trainees die Möglichkeit, ihr Netzwerk auszubauen und Erfahrungen auszutauschen.

trag vor, den Hochdruckverdichter teilweise zu zerlegen. Doch während der Inspektion stellten unsere Experten weitere Bauteilschäden fest. Nach Rücksprache mit dem Kunden wurde der Workscope erweitert. Darauf müssen wir mit der Produktionssteuerung reagieren.“

Die Steuerung und Überwachung des Prozesses erfolgt mit integrierten IT-Management-Systemen, mit denen sämtliche Maßnahmen koordiniert werden. Sobald das Triebwerk eingelastet wird, also in den Shop kommt, sind alle Termine und Meilensteine verplant. Ein weiterer Erfolgsfaktor: die kontinuierliche Abstimmung aller beteiligten Fachbereiche. „Gleich zu Beginn meiner Ausbildung habe ich einen Eindruck davon bekommen, wie komplex die Abläufe mit mehr als 30 Schnittstellen sind, die ich erst einmal alle kennenlernen musste“, erinnert sich Weller.

Jedes Detail ist wichtig. „Um optimal planen und steuern zu können, müssen wir auch die Fertigungsverfahren kennen“, erläutert Weller. „So lässt sich besser nachvollziehen, wo es im Prozess eng werden könnte.“ Neue Erkenntnisse und Aufgaben gab es auch in der Demontage und Arbeitsplanung. „Dort wurde zum Beispiel der Blick geschärft für das Thema, was welche

Kosten verursacht – etwa wenn Ausschuss produziert oder ein Bauteil wiederholt überarbeitet wird.“

An jeder Station hatte er ein Projekt selbständig zu bearbeiten. Bei der MTU Maintenance Zhuhai in China wurde Weller mit der Optimierung eines Prozesses beauftragt: Wie lässt sich sicherstellen, dass Teile, die zur Bearbeitung an externe Zulieferer vergeben werden, pünktlich zurück in der Montage eintreffen? „Der Fokus dabei lag auf den internen Produktionsprozessen“, berichtet er. Zusammen mit einem zehnköpfigen Team fand er die Lösung: Die kritischen Bauteile wurden identifiziert und kommen früher in den Befund. Dort werden sie nun wiederum priorisiert abgearbeitet. Rückblickend sagt er: „Mich hat begeistert, wie ergebnisorientiert das Team gearbeitet hat und wie aufgeschlossen alle gegenüber dem neuen Projekt waren.“

Mittlerweile ist Weller zurück in Hannover. Im Spätsommer 2016 wird er sein Programm absolviert haben und in der Produktionsplanung und -steuerung starten. „Das war – neben der Faszination für das Hightech-Produkt Triebwerk – ein wichtiges Kriterium, als Trainee bei der MTU anzufangen: Ich kannte mein Ziel.“ 



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

# 100 Jahre Boeing und die MTU

## Meilensteine zweier erfolgreicher Unternehmen

In diesem Jahr feiert der Flugzeughersteller Boeing sein 100-jähriges Bestehen. Fast genauso lange haben Boeing und die MTU Aero Engines mit ihren Vorgängerunternehmen gemein-

sam die Luftfahrtentwicklung geprägt. Hier einige Meilensteine ihrer gemeinsamen Geschichte.



Geplanter Erstflug der Boeing 777X. — **2020**

Der Boeing 787 Dreamliner tritt bei All Nippon Airways den Liniendienst an. — **2011**

Erstflug Boeing 787 Dreamliner. — **2009**

Erstflug Boeing 777. — **1994**

Erstflug Boeing C-17 Globemaster. — **1993**

Erstflug Boeing 757. — **1982**

Lufthansa ist europäischer Erstkunde für den 747 Jumbojet und nimmt zwei Jahre später als erste Airline den 747 Frachter in Dienst. — **1970**

Die B747 hebt erstmals ab. — **1969**

Mit der Model 80, ausgestattet mit Hornet-Sternflugmotoren von Pratt & Whitney, stellt Boeing sein erstes eigens für den Passagierdienst konzipierte Flugzeug vor. — **1928**

William Boeing gründet im Bundesstaat Washington die Pacific Aero Products Company, die ein Jahr später in Boeing Airplane Company umbenannt wird. — **1916**



**2020** — Die MTU ist seit 2014 an der Entwicklung und Fertigung des GE9X beteiligt, das ab 2020 die neue Boeing 777X in die Luft bringen soll.

**2012** — Cargolux erhält die erste B747-8F mit MTU-TCF.

**2008** — Die MTU beteiligt sich mit dem Turbinenzwischengehäuse (TCF) am Erfolgstriebwerk GENx für B787 und B747-8.

**1995** — Die MTU beteiligt sich an der Entwicklung des bis dahin weltweit schubstärksten zivilen Triebwerks PW4098 mit einem Startschub von 436 kN für die Boeing 777-200 und -300.

**1979** — Die MTU beteiligt sich an Entwicklung und Fertigung des PW2000, das sowohl zivil (Boeing 757) als auch militärisch (Boeing C-17 Globemaster) eingesetzt wird.

**1971** — Die MTU fertigt Bauteile für das CF6-50 für die Boeing 747.

**1969** — Die Motoren- und Turbinen-Union GmbH wird durch die Zusammenlegung der Triebwerks- und Dieselmotorenaktivitäten von Daimler-Benz und MAN gegründet.

**1934** — Der Flugmotorenbau wird aus der Bayerischen Motorenwerke AG ausgegliedert.

**1928** — Die BMW-Flugmotoren GmbH unterzeichnet einen Lizenzvertrag mit Pratt & Whitney für den Bau des Sternflugmotors Hornet.

**1916** — Aus der 1913 gegründeten Rapp Motorenwerke GmbH wird BMW.

# Patente der MTU

## Additive Fertigung



Die additive Fertigung ermöglicht die schnelle 3D-Herstellung hochkomplexer Bauteile. Aus der industriellen Produktion ist sie deshalb weltweit nicht mehr wegzudenken. Auch die MTU Aero Engines arbeitet kontinuierlich an der Weiterentwicklung des Verfahrens und zählt zu den Top 10 der Patentinhaber.

### VERTEILUNG

**80 Prozent**  
**4 Länder**

**China, Deutschland, Japan und die USA** besitzen gemeinsam 80 Prozent aller 3D-Druck-Patente weltweit

### ANZAHL DER PATENTE

**104**  
**Patente**

Platz 7 unter den Top 10 weltweit

### TOP 10 PATENTINHABER IN 3D-DRUCK SEIT 1995

<b>01</b>	<i>3D Systems</i>	<i>US</i>	<i>200</i>
<b>02</b>	<i>Stratasys</i>	<i>US</i>	<i>164</i>
<b>03</b>	<i>Siemens</i>	<i>DE</i>	<i>145</i>
<b>04</b>	<i>General Electric</i>	<i>US</i>	<i>131</i>
<b>05</b>	<i>Mitsubishi</i>	<i>JP</i>	<i>127</i>
<b>06</b>	<i>Hitachi</i>	<i>JP</i>	<i>117</i>
<b>07</b>	<i>MTU Aero Engines</i>	<i>DE</i>	<i>104</i>
<b>08</b>	<i>Toshiba</i>	<i>JP</i>	<i>103</i>
<b>09</b>	<i>EOS</i>	<i>DE</i>	<i>102</i>
<b>10</b>	<i>United Technologies</i>	<i>US</i>	<i>101</i>

Quelle: World Intellectual Property Report (WIPO) basierend auf PATSTAT-Statistik, April 2015

# Ausbau der Marktposition

## MTU Maintenance in Zahlen

**2,1 Milliarden** US-Dollar sind die Aufträge wert, die die MTU Maintenance im Jahr 2015 gewinnen konnte. Das sind rund **25 Prozent mehr** als 2014.

**45 neue Kunden** haben sich 2015 für die MTU Maintenance entschieden.

Mehr als **250 neue Verträge** wurden 2015 abgeschlossen, das entspricht mehr als einem Vertrag pro Arbeitstag.

Über **30** verschiedene **Triebwerksmuster** hat die MTU Maintenance im Portfolio, das ist die größte Anzahl weltweit.

**11 Prozent Marktanteil** hat die MTU Maintenance bei der Instandhaltung von CFM56-Triebwerken und ist damit der größte unabhängige Anbieter für dieses Muster.

Mehr als **16.000 Shop Visits** hat die MTU Maintenance seit ihrer Gründung vor 35 Jahren abgewickelt.

# Gewinnspiel Bilderrätsel

## ORIGINAL



## FÄLSCHUNG



**In das untere Bild sind fünf Fehler eingebaut. Finden Sie sie!**

Zehn Einsender von richtigen Lösungen dürfen sich bald über je einen MTU-Bluetooth Lautsprecher freuen.

Senden Sie Ihre Lösung (als Scan oder Ausschnitt) bis 10. September 2016 an [aeroreport@mtu.de](mailto:aeroreport@mtu.de) oder an MTU Aero Engines AG, Redaktion **AEROREPORT**, 80995 München.

Viel Glück!

*Das Rätselbild zeigt die automatisierte Beladung einer Drehmaschine mit einer PW1000G-Blisk im Kompetenzzentrum für Bliskfertigung bei der MTU Aero Engines in München.*

# Kostenloser Newsletter



**Neu: AEROREPORT als Newsletter!** Wir liefern Ihnen die Reportagen, Hintergrundberichte und News des **AEROREPORTS** immer aktuell und frei Haus auf Ihren Desktop oder Ihr mobiles Endgerät – kostenlos und jederzeit kündbar. Einfach auf der **AEROREPORT**-Website registrieren – und nie mehr eine Geschichte verpassen.

*Kostenlose Newsletter-Anmeldung unter:*

<https://www.aeroreport.de/de/newsletter>

## AEROREPORT 0116

### 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](mailto:aeroreport@mtu.de)  
[www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)

### Autoren

Denis Dilba, Anja Dörr,  
Eleonore Fähling, Achim Figgen,  
Nicole Geffert, Silke Hansen,  
Andreas Spaeth, Thorsten Rienth,  
Monika Weiner

### Layout

SPARKS Advertising, München  
[www.sparks.de](http://www.sparks.de)

### Bildnachweis

<i>Titel</i>	Shutterstock
<i>2_3</i>	MTU Aero Engines
<i>6_7</i>	MTU Aero Engines; Bombardier; Embraer; Deutsche Lufthansa AG
<i>8_9</i>	Shutterstock
<i>10_15</i>	MTU Aero Engines; Airbus SAS
<i>16_19</i>	Peter Diehl
<i>21_23</i>	MTU Aero Engines
<i>24_25</i>	Shutterstock
<i>26_27</i>	Andreas Spaeth; Cesar Novaes; Francisco Muro; Paulo Martínez
<i>28_29</i>	MTU Aero Engines
<i>30_33</i>	MTU Aero Engines; GF Machining Solutions GmbH
<i>34_41</i>	Jan Greune; Bauhaus Luftfahrt; MTU Aero Engines
<i>42_43</i>	Shutterstock
<i>44_47</i>	MTU Aero Engines; DLR
<i>48_49</i>	MTU Aero Engines
<i>50_53</i>	MTU Aero Engines

### Druck

EBERL PRINT GmbH, Immenstadt

### Online

ADVERMA  
Advertising und Marketing GmbH, Rohrbach

*Texte mit Autorenvermerk geben nicht unbedingt die Meinung der Redaktion wieder. Für unverlangtes Material wird keine Haftung übernommen. Der Nachdruck von Beiträgen ist nach Rücksprache mit der Redaktion erlaubt.*

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



## Wir sorgen für den Antrieb!

Die MTU Aero Engines entwickelt, fertigt, vertreibt und betreut zivile und militärische Antriebe für Flugzeuge und Hubschrauber sowie Industriegasturbinen. Unser Schlüssel zum Erfolg sind Antriebe für die Luftfahrt von morgen – noch sparsamer, schadstoffärmer und leiser. Mit rund 9.000 Mitarbeitern sind wir weltweit präsent und in Deutschland zu Hause. Werden auch Sie Teil unseres engagierten Teams als

### Student/in

für Praktika, Werkstudententätigkeiten oder Abschlussarbeiten

### Ingenieur/in

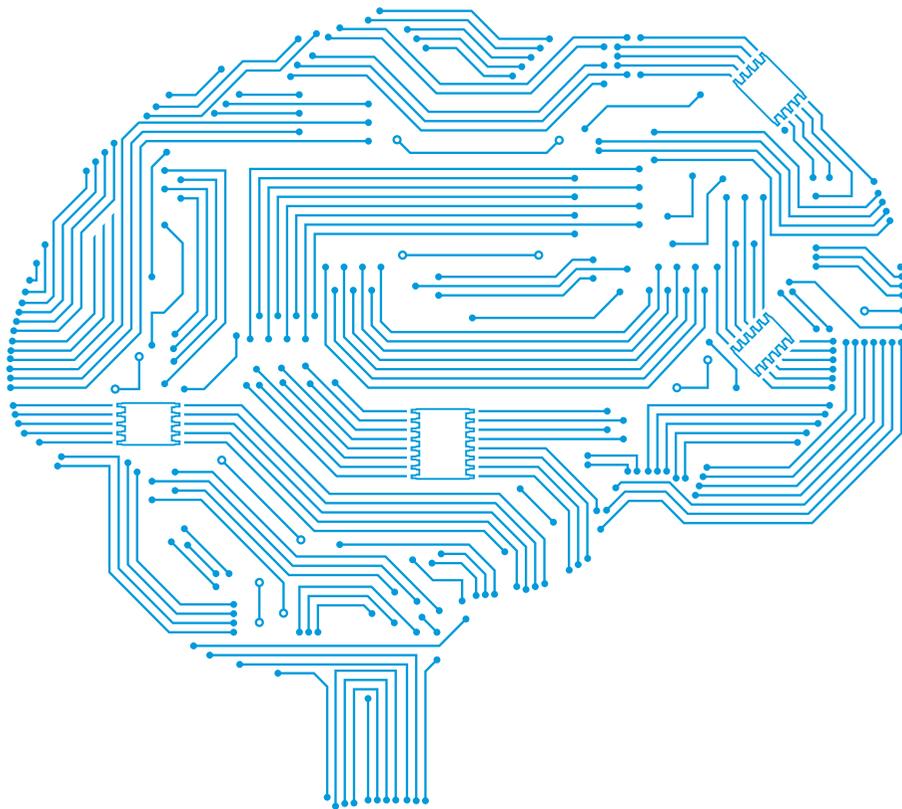
für den Bereich Entwicklung, Fertigung, Qualitätsmanagement, Einkauf und Logistik, Instandsetzung oder Vertrieb

Bei der MTU erwarten Sie maßgeschneiderte Entwicklungsprogramme und ein umfangreiches Weiterbildungsangebot. Wir bieten Ihnen eine Reihe von Zusatzleistungen, die ganz auf Ihre Bedürfnisse abgestimmt sind: Eine zeitgerechte Altersversorgung gehört für uns ebenso dazu wie Maßnahmen zur Vereinbarkeit von Familie und Beruf, zum Beispiel mit unseren flexiblen Arbeitszeitmodellen oder der betriebsnahen Kindertagesstätte TurBienenchen. Darüber hinaus engagiert sich die MTU im Bereich Gesundheit und Fitness.

Als Technologieunternehmen liegen uns auch Frauen mit einer qualifizierten Ausbildung sehr am Herzen. Ihre Bewerbung ist uns besonders willkommen!

Mehr unter [www.mtu.de/karriere](http://www.mtu.de/karriere).





**AEROREPORT**

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