

# AEROREPORT 02|22

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



## Forschungsnetzwerk für die Triebwerke von morgen

*Seit Jahrzehnten arbeitet die MTU eng mit Instituten  
und Hochschulen zusammen – immer auf der Suche  
nach dem nächsten technologischen Vorsprung.*

### AVIATION

Tanz auf der Welle -  
mit dem Segelflugzeug  
auf Rekordjagd

### PEOPLE

Auf neue Werkstoffe kommt es  
an – künftige Antriebe erfordern  
fortschrittliche Materialien

### GOOD TO KNOW

Schneller, weiter,  
höher – Rekorde  
in der Luftfahrt



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

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

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

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

Wir sind 10.000. An 16 Standorten weltweit. Jedes dritte Flugzeug fliegt mit unserer Technologie. Was wir noch brauchen? **Sie.**

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

**#UPLIFTYOURFUTURE**

Hier geht es zu  
unserer Jobbörse:



## Liebe Leserinnen und Leser,

an dieser Stelle möchte ich mich persönlich von Ihnen verabschieden: Nach 20 Jahren in Geschäftsführung und Vorstand von MTU Aero Engines gebe ich meine Aufgaben zum Jahreswechsel an meinen Kollegen Lars Wagner weiter. Er wird die MTU mit seinen umfassenden Erfahrungen in Technik und Management in die nächste Phase des Wachstums und der technologischen Neuerungen führen.

Die MTU ist ein großartiges Unternehmen mit guten Zukunftsperspektiven und ich bin stolz darauf, dass wir mit dem gesamten Führungsteam die Rolle des Unternehmens in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten stärken und weiter ausbauen konnten. Die MTU ist ein unverzichtbarer und geschätzter Partner der weltweiten Luftfahrtindustrie und der Airlines.

Die Luftfahrt steht in den kommenden Jahren vor großen Herausforderungen und Veränderungen: Trotz der aktuellen Krisen sehen wir langfristig eine steigende Nachfrage nach Flugreisen. Dies führt zu höheren Bedarfen im Flugverkehr und an neuen, effizienten Flugzeugen. Konzepte und Produkte für einen ressourcenschonenden und möglichst klimafreundlichen Luftverkehr werden erforscht und entwickelt – von einzelnen Unternehmen wie unserem, vor allem aber gemeinsam zwischen den weltweiten Industrie- und Forschungspartnern.

Mehrere Hundert Patentanmeldungen und Erfindungsmeldungen jährlich stehen für die enorme Innovationskraft der MTU. Die Weiterentwicklung unserer Hightech-Komponenten wie Niederdruckturbine oder Hochdruckverdichter, modernste, automatisierte Herstell- und Reparaturverfahren und die Entwicklung visionärer Triebwerkskonzepte spielen dabei eine große Rolle. Die MTU arbeitet seit Jahrzehnten eng mit Instituten und Hochschulen zusammen, um Innovationen voranzutreiben – immer auf der Suche nach dem nächsten technologischen Vorsprung.

Gemeinsam mit führenden Hochschulen und Forschungseinrichtungen hat sie dafür Kompetenzzentren und Partnerschaften gegründet. In dieser Ausgabe des **AEROREPORT** stellen wir Ihnen eine Auswahl an spannenden Projekten vor, die die MTU gemeinsam mit ihren Forschungspartnern verwirklicht.

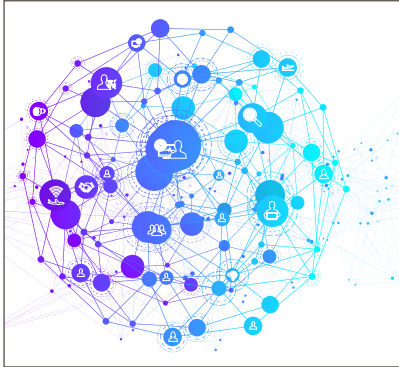
Werfen Sie außerdem einen Blick in die Welt der Werkstoffe und ihre Anforderungen an den Einsatz in zukünftigen Flugzeugantrieben. Darüber haben sich Dr. Inga Stoll, MTU-Werkstofftechnikleiterin, und Dr. Jörg EBlinger, Senior Consultant Materials bei der MTU, ausführlich unterhalten.

Viel Freude beim Lesen wünscht Ihnen



Ihr

Reiner Winkler  
Vorsitzender des Vorstands

**COVERSTORY**

## Forschungsnetzwerk für die Triebwerke von morgen

Die MTU hat Kompetenzzentren und Partnerschaften mit führenden Universitäten und Forschungsinstituten aufgebaut. In diesem Netzwerk arbeiten die klügsten Köpfe gemeinsam an den wichtigen Triebwerksthemen der Zukunft.

---

Seite 8

**INNOVATION**

## Fliegen für die Forschung

Die Luftfahrt soll sauberer werden. Um dieses Ziel zu erreichen, muss man wissen, welche Schadstoffe beim Fliegen in die Atmosphäre gelangen und inwieweit neue Kraftstoffe oder Antriebstechniken die Emissionen verringern. Forschungsflugzeuge helfen dabei.

---

Seite 24

**AVIATION**

## Tanz auf der Welle

Segelflug-Profi Klaus Ohlmann hält 66 Weltrekorde und sieben WM-Titel. Die verdankt er seinem Können – und dem Phänomen der Leewellen. Während die Wellen ihn in die Höhe tragen, können sie kommerziellen Flugzeugen gefährlich werden.

---

Seite 30

## CONTENTS

**FACTS**

- 6 **Jubiläum** 50 Jahre Airbus A300
- 6 **Boeing 777F** Der Superfrachter
- 7 **MTU Zahlen** 8.000stes Triebwerksmodul ausgeliefert
- 7 **MTU Zahlen** MTU Maintenance feiert 4.000ste Auslieferung eines CF6 Triebwerks
- 7 **Facts about MTU**

**COVERSTORY**

- 8 **Forschungsnetzwerk für die Triebwerke von morgen** Gemeinsam mit zahlreichen Forschungsinstituten arbeitet die MTU erfolgreich an den Triebwerksthemen der Zukunft
- 12 **Gemeinsam für eine emissionsfreie Luftfahrt** DLR und MTU
- 16 **Hightech-Forschung der klügsten Köpfe** Universitäten und MTU

- 20 **Zukunft gemeinsam denken** Bauhaus Luftfahrt und MTU

**INNOVATION**

- 24 **Fliegen für die Forschung** Forschungsflugzeuge helfen die Auswirkungen der Luftfahrt auf das Klima zu verstehen

**AVIATION**

- 30 **Tanz auf der Welle** Mit dem Segelflugzeug auf Rekordjagd
- 36 **Nonstop zu entfernten Ufern** Kleinster Langstreckenjet - der A321XLR hebt zum Erstflug ab
- 42 **Start in die neue Überschall-Ära** 1947 durchbrach ein Mensch erstmals die Schallmauer. 2003 endete der Concorde-Betrieb – doch schon 2029 könnte es wieder Überschall-Passagierflüge geben

**AVIATION**

## Start in die neue Überschall-Ära

Schneller zu fliegen als der Schall ist ein alter Menschheitstraum - vor 75 Jahren wurde er erstmals erreicht. Linienpassagiere flog die Concorde erst ab 1976, ihr Betrieb endete 2003. Ab 2029 könnte es nun wieder Überschalldienste geben.

---

Seite 42

**PEOPLE**

## Auf neue Werkstoffe kommt es an

Auf dem Weg zum emissionsfreien Fliegen kommen mit den künftigen Antriebstechnologien ganz neue Anforderungen auf die Werkstoffe zu. Welche das sind, darüber sprechen Dr. Jörg Eßlinger, Senior Consultant Materials, und Dr. Inga Stoll, Leiterin Werkstofftechnik.

---

Seite 48

**GOOD TO KNOW**

## Schneller, weiter, höher

Auf wie viele Meter bringt es eigentlich der höchste Flughafen-Kontrollturm? Von wo bis wo geht die längste Flugstrecke? Und welches Triebwerk ist das größte? Die Luftfahrt ist für eine ganze Reihe spannender Rekorde gut.

---

Seite 60

**PEOPLE**

- 48 **Auf neue Werkstoffe kommt es an** Welche Anforderungen auf neue Werkstoffe für zukünftige Antriebe zukommen, erläutern Dr. Jörg Eßlinger und Dr. Inga Stoll
- 54 **Flugzeuge vor der Kamera** Planespotting: Die Leidenschaft, Flugzeuge abzulichten

**GOOD TO KNOW**

- 58 **Kabine mit Kakteenleder** Die neuesten Trends für die Flugzeugkabine
- 60 **Schneller, weiter, höher** Der Traum vom Fliegen pusht die Luftfahrt zu immer neuen Rekorde
- 62 **Kurz erklärt** So funktioniert das WET-Konzept
- 63 **Kurz erklärt** So funktioniert die Flying Fuel Cell
- 63 **Impressum und Bildnachweis**



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

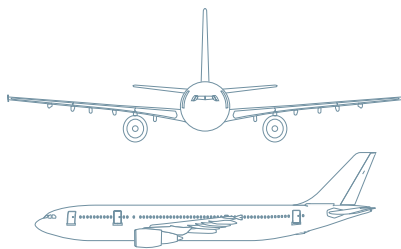
Alle Beiträge aus der Printausgabe – und noch viele mehr – finden Sie online unter: [www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de). Informative Videos, Fotogalerien und andere interaktive Specials warten dort auf Sie.

## JUBILÄUM

## 50 Jahre Airbus A300

Am 28. Oktober 1972 hob zum ersten Mal der Airbus A300 ab – das erste zweistrahlige Großraumflugzeug der Welt. Er wurde in verschiedenen Varianten bis zum Jahr 2007 produziert. Der Airbus A300 war das erste Flugzeug des damaligen Airbus Konsortiums und ist heute überwiegend als Frachtmaschine im Einsatz.

## A300-600



LÄNGE	54,10 m
HÖHE	16,5 m
FLÜGELSPANNWEITE	44,84 m
REICHWEITE	7.500 km
MAX. SITZPLÄTZE	345
ERSTFLUG	08.07.1983 (-600)
PRODUZIERTE MASCHINEN	561
TRIEBWERKE	General Electric CF6-80 / Pratt & Whitney PW4158



**A300-600R** — Die A300-600R-Variante wurde 1988 in den kommerziellen Betrieb aufgenommen und vergrößerte die Reichweite. Seitdem wurden alle neu produzierten A300-600 zu A300-600Rs.

## BOEING 777F

## Der Superfrachter



Die Boeing 777F ist der größte zweistrahlige Frachter der Welt. Angetrieben von zwei GE90-110 Triebwerken kann das Frachtflugzeug **103 Tonnen Nutzlast** transportieren. Der voll beladene

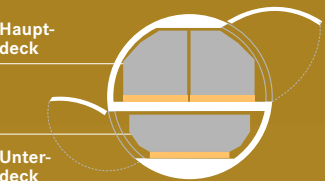
Frachter kann unter normalen Wetterbedingungen **9.045 Kilometer** weit fliegen – Langstreckenrouten wie Frankfurt – Hongkong oder London – Los Angeles sind damit möglich.

### Wie funktioniert eigentlich das Beladen von Frachtflugzeugen?

Die Frachträume einer Boeing 777F werden in ein Hauptdeck und in ein Unterdeck unterteilt. Beladen wird der Frachter über Frachttüren am vorderen und hinteren Rumpf. Zunächst wird mit der Beladung des vorderen Unterdecks und des Hauptdecks begonnen. Im Anschluss folgt die Beladung des hinteren Unterdecks. Sogenannte „Highloader“ heben die Fracht auf die entsprechende Höhe an, sodass die Paletten in das Flugzeug eingeführt werden können.

Hauptdeck

Unterdeck



Highloader



## GTF FACTS

Mehr als  
**4 Mio.**  
Flüge seit  
EIS

Mehr als  
**15 Mio.**  
Triebwerks-  
flugstunden

Mehr als  
**3 Mrd.**  
Liter Treibstoff  
eingespart

Mehr als  
**8 Mio.**  
Tonnen ver-  
miedenes CO<sub>2</sub>

Quelle: Pratt & Whitney, Stand Q3/2022

**MTU ZAHLEN**

**8.000**

Im Juni 2022 lieferte die MTU das 8.000ste Triebwerksmodul an Pratt & Whitney Canada (P&WC) aus. Bereits seit 1985 läuft die Zusammenarbeit der MTU mit P&WC.



1985

1993

2010



**PW300**

Begonnen hat die Zusammenarbeit mit dem Zweiwellen-Zweistromtriebwerk PW300, das den Bereich zwischen 4.500 und 6.000 Pfund Schub abdeckt und in zahlreichen Business-Jets eingesetzt wird.

**PW500**

Es folgte 1993 das PW500-Programm für etwas kleinere Geschäftsreiseflugzeuge mit bis zu 4.500 Pfund Schub. Es kommt hauptsächlich in Flugzeugen der Firma Cessna zum Einsatz.

**PW800**

Neuestes Mitglied in der P&WC-Programmfamilie ist das besonders effiziente PW800 für große Langstrecken-Business-Jets mit einem Schub von mehr als 12.000 Pfund. Es verfügt über die gleiche Kerntechnologie wie die Pratt & Whitney GTF™ Triebwerke.

Die MTU ist an den drei Triebwerkstypen mit 15 bis 25 Prozent beteiligt. Die Instandsetzung erfolgt bei der MTU Maintenance Berlin-Brandenburg, die Herstellung von Komponenten und die Modulmontagen erfolgen bei der MTU Aero Engines Polska in Rzeszów..

**MTU ZAHLEN**

**4.000**

Die MTU Maintenance feierte im August 2022 die 4.000ste Auslieferung eines CF6 Triebwerks.

Der Shop Visit wurde durch die nordamerikanische Niederlassung der MTU Maintenance in Vancouver durchgeführt.



**Antrieb für Jumbo Jet** — Zwei CF6-80C2 Triebwerke am Flügel einer Boeing 747.



**Instandsetzung** — Bei der MTU in Hannover und Vancouver werden einige Modelle der CF6-Familie instandgehalten

Das Erfolgsmodell gehört zu den meistverkauften Triebwerken seiner Klasse und war vor 50 Jahren das erste Triebwerk der MTU für die zivile Luftfahrt.

**FACTS ABOUT MTU**

Jedes **dritte** Verkehrsflugzeug fliegt mit MTU-Technologie



Über **20.000** Shop Visits in der zivilen Instandhaltung der MTU Maintenance

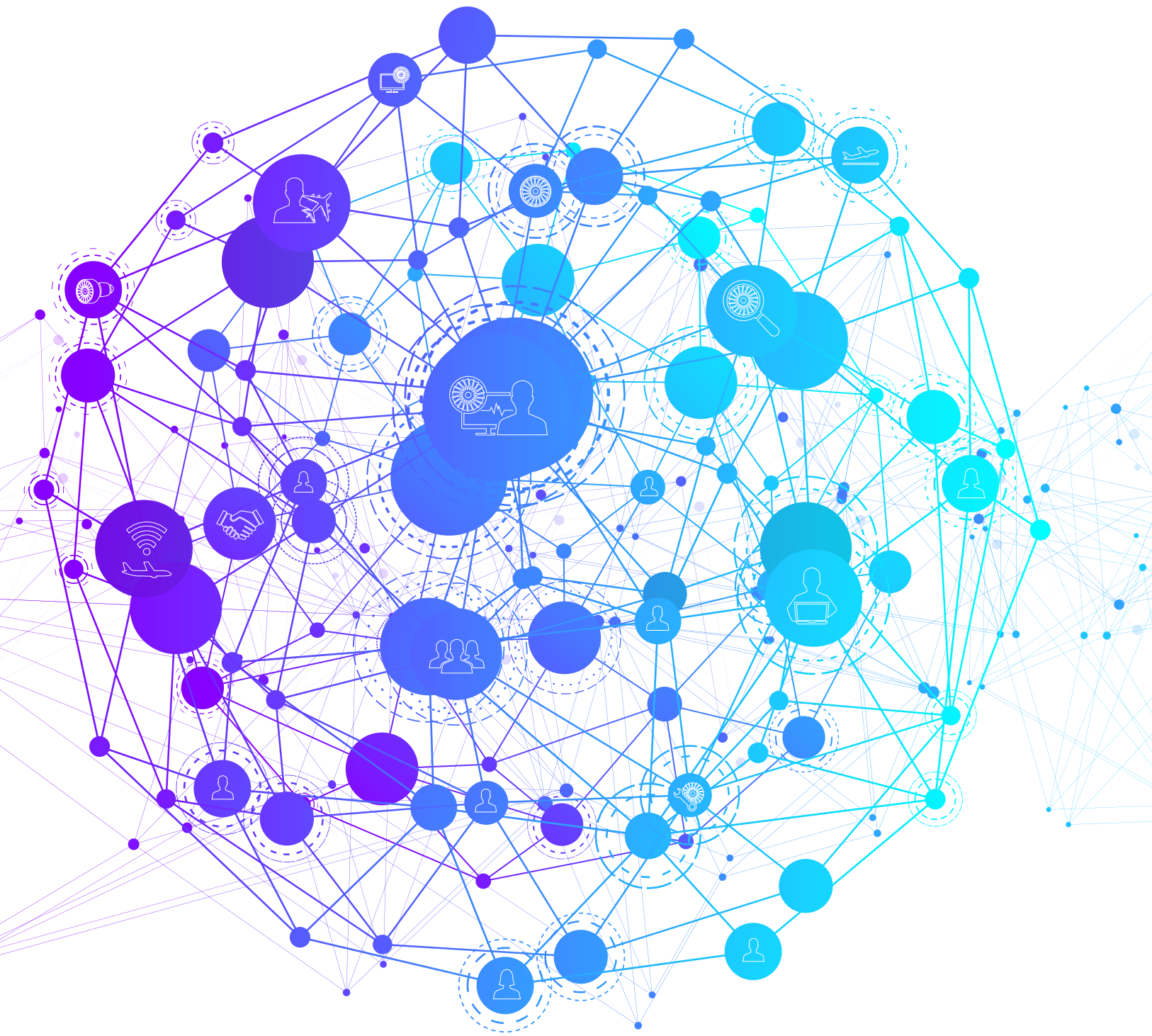


In über **40 Jahren** mehr als 1.500 Shop Visits für die Industriegasturbinen LM™-Serie



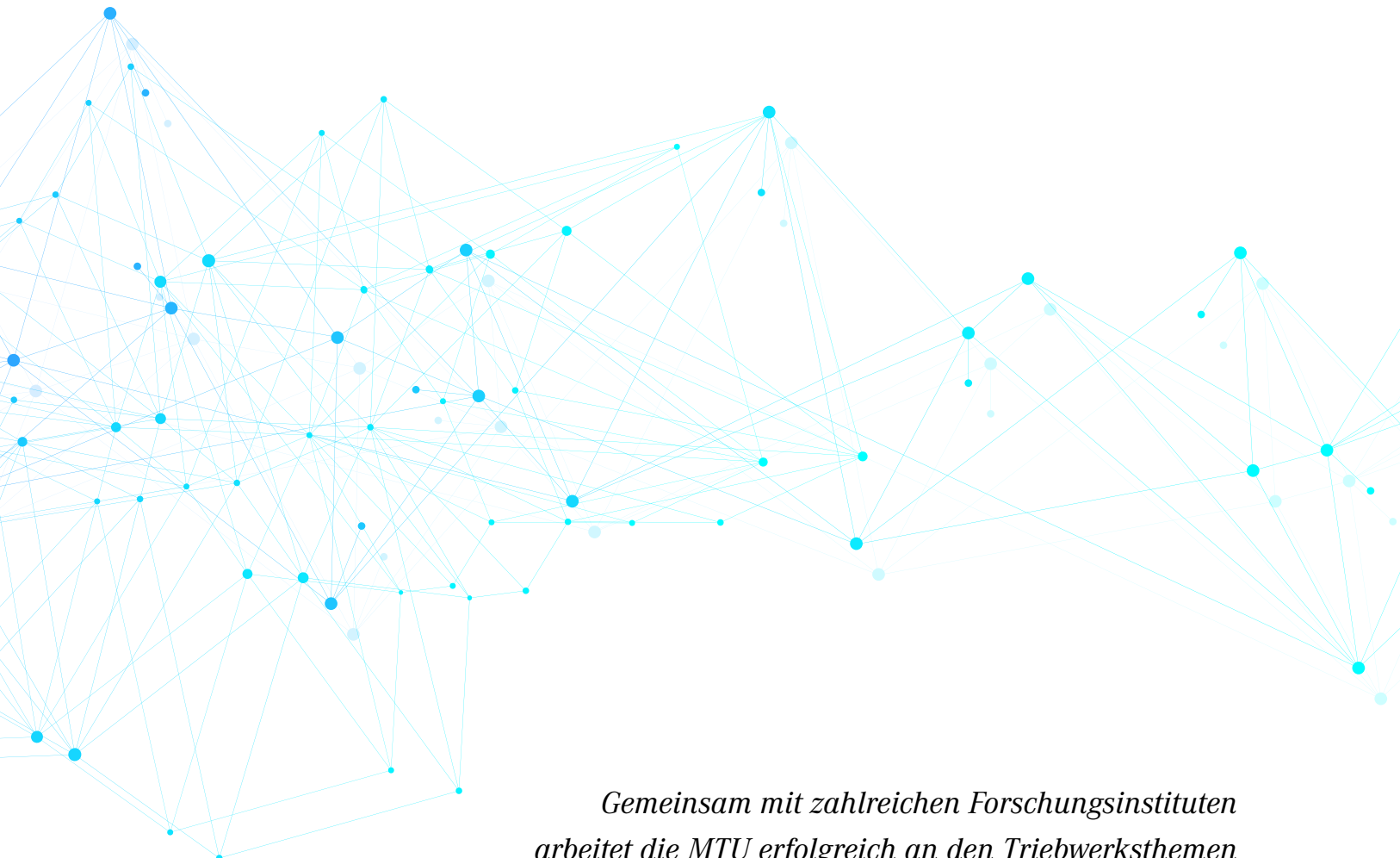
Circa **200** Technologieprojekte mit dem Schwerpunkt nachhaltiges Fliegen







# Forschungsnetzwerk für die Triebwerke von morgen



*Gemeinsam mit zahlreichen Forschungsinstituten  
arbeitet die MTU erfolgreich an den Triebwerksthemen  
der Zukunft.*

**Autorin:** Isabel Henrich

Fortschritt braucht frische Ideen und immer wieder neue Impulse. Seit Jahrzehnten arbeitet die MTU Aero Engines daher eng mit Hochschulinstituten und Großforschungseinrichtungen zusammen – immer auf der Suche nach dem nächsten technologischen Vorsprung. Gemeinsam mit führenden Hochschulen und Forschungseinrichtungen hat sie Kompetenzzentren und Partnerschaften gegründet, um die Kooperationen zu verstetigen und zu intensivieren.

„Strategische Allianzen mit exzellenten Forschungspartnern sichern langfristig die Innovationsfähigkeit der MTU“, sagt Dr. Arne Weckend, Repräsentant Technologie-Kooperationen bei der MTU Aero Engines. Die Kooperationen liefern wichtige Impulse und neue Kenntnisse. „Die MTU hat in den eigenen Reihen viele Kompetenzen, kann aber nicht jedes Spezialgebiet abdecken“, so Weckend.

### **Grundlagenforschung, Trendforschung und die Entwicklung visionärer Triebwerkskonzepte**

Die MTU fokussiert sich bei den Forschungsk Kooperationen unter anderem auf ihre Hightech-Komponenten Hochdruckverdichter, schnelllaufende Niederdruckturbine und Turbinenzwischengehäuse. Schlüsseltechnologien sind unter anderem neue Werkstoffe, modernste, automatisierte Herstell- und Reparaturverfahren sowie die virtuelle Auslegung inklusive der Werkstoff- und Fertigungssimulation. Grundlagenforschung, Trendforschung und Entwicklung visionärer Triebwerkskonzepte sowie ein branchenübergreifender Erfahrungsaustausch mit Expert:innen spielen dabei eine große Rolle. Auch auf Nachwuchsförderung wird sehr viel Wert gelegt.

In Deutschland kooperiert die MTU sehr eng mit sieben sogenannten Kompetenzzentren (kurz: CoC, engl. Center of Competence). Dieses Netzwerk besteht aus fünf erstklassigen Hochschulen, dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und der Fraunhofer Gesellschaft. Hier arbeiten die klügsten Köpfe zusammen an einem oder mehreren Schwerpunktthemen. Außerdem kooperiert die MTU sehr eng mit dem Think Tank Bauhaus Luftfahrt, bei dem der Blick vor allem auf das komplexe System der Luftfahrt als Ganzes gerichtet wird.

### **Mit dem DLR die emissionsfreie Luftfahrt im Blick**

Mit dem DLR arbeitet die MTU bereits seit den 1990er Jahren zusammen. Speziell für die Luftfahrt erarbeitet das DLR Lösungen für die aktuelle und die kommende Technologie-Generation. So breit das Forschungsgebiet des DLR ist, so breit aufgestellt sind auch die Themen, bei denen die MTU mit dem DLR kooperiert – von der Erforschung neuer Materialien bis hin zur Entwicklung neuer Triebwerkskonzepte. „Die Expert:innen beim DLR verfügen nicht nur über ein einzigartiges Detailwissen, sondern auch über das Know-how um den Einfluss der Luftfahrt auf Atmosphäre und Klima zu bewerten“, betont Weckend.

Beispielsweise testet und optimiert die MTU Bauteile für die nächste Generation von Getriebefan-Triebwerken am DLR-Institut für Antriebstechnik. Auf einem sogenannten „Mehrstufen-2-Wellen-Axialverdichter Prüfstand“ werden dazu die aerodynamischen Zusammenhänge von Hoch- und Niederdruckverdichter sowie dem Übergangskanal getestet.

### **Anwendungsnahe Forschung mit Spitzenuniversitäten**

„Die Zusammenarbeit mit leistungsstarken Hochschulen ist ein fester Bestandteil der Forschung und Entwicklung bei der MTU. Für Grundlagenforschung bleibt den MTU-Expert:innen, die ins Tagesgeschäft eingebunden sind, kaum Zeit. Hier baut die MTU deshalb auf die Zusammenarbeit mit den Hochschulen,“ erklärt Ann-Kathrin Jung, Programmkoordinatorin Technologie-Partnermanagement bei der MTU.

Fünf deutsche Hochschulen bringen als Kompetenzzentren ihr Spezialwissen ein. Dabei wird nicht nur Grundlagenforschung betrieben, sondern auch anwendungsnah geforscht. Ein Pluspunkt: Die MTU kann aus diesen Kooperationen auch zahlreiche exzellente Nachwuchskräfte gewinnen.

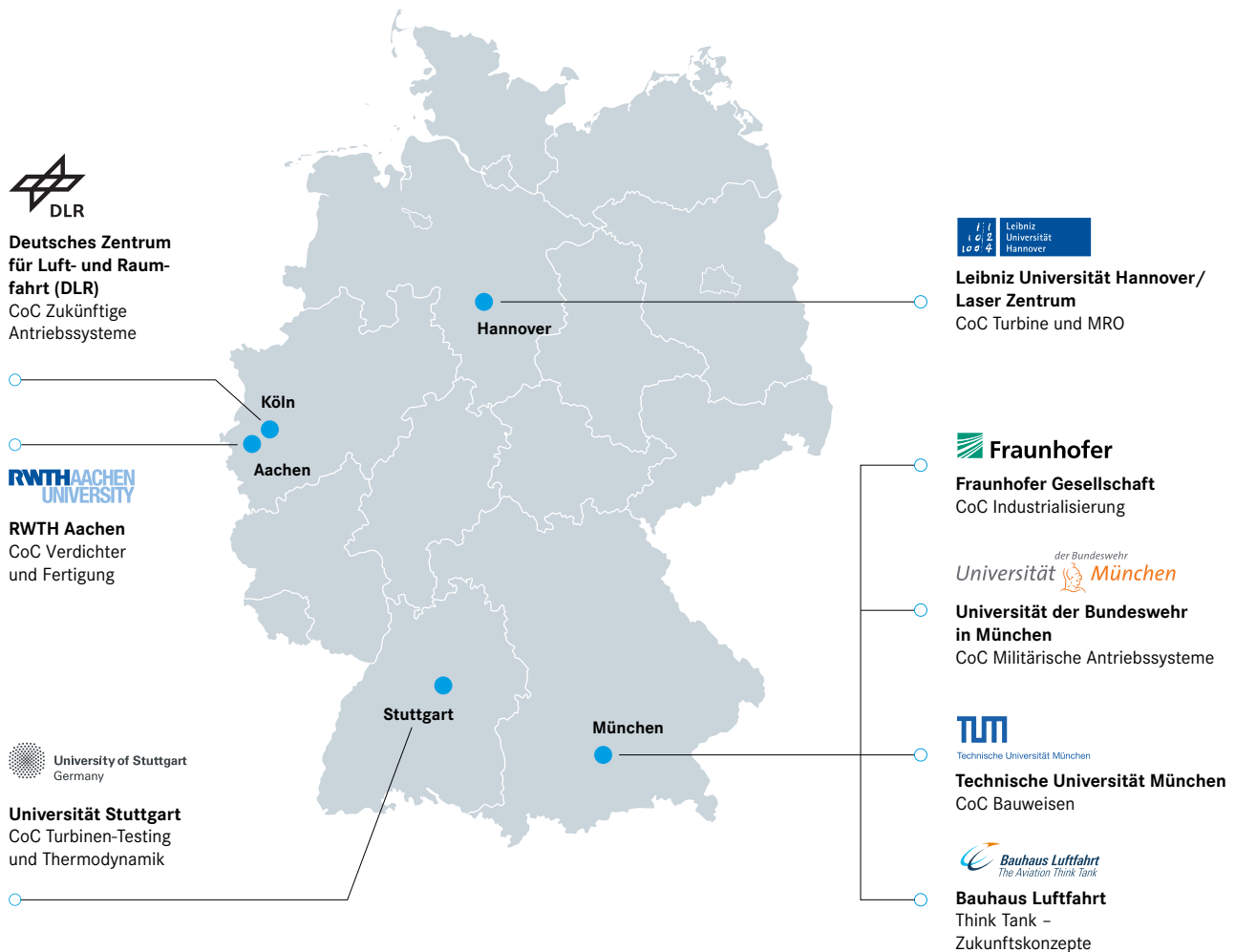
### **Auf dem Weg zur Industrie 4.0**

Im Bereich Produktions- und Industrialisierungstechnologien ist die Fraunhofer-Gesellschaft mit ihren 76 Instituten der ideale Partner. Schon seit zwei Jahrzehnten arbeitet die MTU mit verschiedenen Instituten zusammen. Das Spektrum reicht von der Entwicklung neuer Materialien und Antriebs- und Fertigungstechnologien bis hin zu einer effizienteren Instandhaltung von Triebwerken. Das im Juni 2022 neu gegründete CoC „Industrialisierung“ wird die Zusammenarbeit der beiden Partner künftig noch weiter vertiefen.

„Das Besondere bei den Fraunhofer-Instituten ist, dass sie nicht nur wichtige Erkenntnisse aus der Forschung beisteuern, sondern diese auch gemeinsam mit unseren Ingenieur:innen in die Praxis umsetzen“, betont Jung.

### **Simulations-Profis beim Bauhaus Luftfahrt**

Wird der Blick auf das komplexe System der Luftfahrt als Ganzes gerichtet, sind die Expert:innen vom Bauhaus Luftfahrt die richtigen Ansprechpartner. Zusammen mit anderen Partnern hat die MTU das Bauhaus Luftfahrt 2005 an den Start gebracht. Diese international ausgerichtete Ideenschmiede entwickelt innovative Lösungsansätze für Lufttransportsysteme der Zukunft. Mit Hilfe von Simulationsmodellen erarbeiten die Expert:innen des Bauhaus Luftfahrt gemeinsam mit der MTU Konfigurationen künftiger Antriebe. Aktuelles Beispiel ist das revolutionäre MTU-Antriebskonzept Water-Enhanced Turbofan (WET), eine Fluggasturbine mit Energierückgewinnung und nasser Verbrennung.



Die Zusammenarbeit beim WET-Konzept ist dabei nur eines von vielen gemeinsamen Projekten zwischen MTU und Bauhaus Luftfahrt. „Der Think Tank ist enorm vielseitig“, betont Weckend. „Das Team verfügt über hervorragende interdisziplinäre Kontakte und hat übergreifende Kompetenzen bei der Bewertung neuer Luftverkehrskonzepte und Antriebskonzepte, die sich daraus ergeben.“

### Partnerschaften, von denen beide Seiten profitieren

Gemeinsam mit den Partnern erarbeitet die MTU somit langfristige und systemübergreifende Fragestellungen in der Triebwerksentwicklung. Davon profitieren beide Seiten: Die eher grundlagenorientierte Arbeit der Forschungseinrichtungen bekommt Praxisbezug und die MTU kann für langfristige Themen auf die exzellente Expertise der Wissenschaftler zurückgreifen.

Die MTU ist Teil eines starken Forschungsnetzwerks mit zahlreichen Kooperationen auf höchstem Niveau. Eine Auswahl davon stellen wir Ihnen auf den nächsten Seiten vor und weitere Artikel finden sie auf [www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de).

### WEITERE INFORMATIONEN ZUM THEMA:

MTU und Fraunhofer:  
Forschungspartner für  
die Industrie 4.0  
[www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)





FORSCHUNGSNETZWERK: DLR UND MTU

# Gemeinsam für eine emissionsfreie Luftfahrt

*Computermodelle, Prüflabors, eine Flotte von Forschungsflugzeugen – beim DLR-Institut für Antriebstechnik testet und optimiert die MTU Bauteile für die nächste Generation von Getriebefan-Triebwerken.*

**Autorin:** Monika Weiner

**Zwei-Wellen-Rig** — Im Frühjahr 2023 sollen drei Module auf den Prüfstand: Stufen des Hoch- und Niederdruckverdichters sowie der Übergangskanal, der die beiden verbindet. Diese zu einem Prüfling zusammengefügte Einzelteile sind das sogenannte „Zwei-Wellen-Rig“.



Auf der Linder Höhe, gleich neben dem Flughafen Köln Bonn, steht alles bereit für den Realitäts-Check: Im Prüflabor am Institut für Antriebstechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) surren zwei Elektromotoren mit je fünf Megawatt Leistung, an den Wänden hängen Ölpumpen und Messgeräte. Stränge von Kabeln führen zu einer zehn Meter langen Teststation in der Mitte des Raums. Der Clou an diesem „Mehrstufen-2-Wellen-Axialverdichter Prüfstand“, kurz M2VP: Die beiden Wellen lassen sich über die Elektromotoren unabhängig voneinander ansteuern, womit über eine Getriebekombination stufenlos Drehzahlen von 0 bis etwa 20.000 Umdrehungen pro Minute generiert werden können – sogar eine gegenläufige Bewegung ist möglich. „Diese Versuchsanordnung ist nahezu einzigartig. Mit ihr kann das Betriebsverhalten der jeweiligen Testobjekte unter sehr realitätsnahen Bedingungen untersucht und getestet werden“, erläutert Dr. Christian Tiedemann, Leiter der Abteilung Fan und Verdichter am DLR-Institut für Antriebstechnik. „Die Prüfung unter diesen realistischen Bedingungen hilft den Entwicklern neuer Antriebe, ihre Bauteile aerodynamisch zu optimieren, die Effizienz von Triebwerken zu steigern und Emissionen zu verringern.“

### **Triebwerks-Module auf dem Weg nach Köln**

Die Forscher:innen der MTU Aero Engines haben zusammen mit ihrem langjährigen Partner GKN Aerospace schon einen Termin in Köln reserviert: Im Frühjahr 2023 sollen drei Module auf den Prüfstand: Stufen von Hoch- und Niederdruck-

verdichter sowie der Übergangskanal, der die beiden verbindet. Die angestrebten Verbesserungen der Aerodynamik sollen mit den Tests in Köln nachgewiesen werden, die im Rahmen von Clean Sky 2 laufen. Derzeit werden die Bauteile für die Module gefertigt und in Kisten verpackt. Im Winter gehen sie auf die Reise.

### **Der Übergangskanal: Interaktion sichtbar machen**

Eine besonders wichtige Rolle bei der Entwicklung eines hocheffizienten Triebwerks spielt die Abstimmung zwischen dem Hoch- und dem Niederdruckverdichter. Im Übergangskanal, der die beiden verbindet, und der von vorn nach hinten immer enger wird, muss eine optimale Strömung gewährleistet sein. Um Gewicht und damit Treibstoff zu sparen, versuchen die Ingenieur:innen diesen Übergangskanal möglichst kurz zu machen. Gleichzeitig darf er nicht zu kurz werden, weil sonst der Luftstrom nicht mehr an der Innenwand entlanggleitet, sondern sich von der Wand löst. Dadurch bilden sich Wirbel, die Reibung erzeugen, und so die Effizienz des Triebwerks verringern.

„Ein ganz entscheidender Punkt bei der Triebwerksentwicklung ist es, die Balance zu finden zwischen einem möglichst kurzen aber trotzdem aerodynamisch optimierten Übergangskanal“, erklärt Dr. Deni Nakaten, Modulteamleiter Zwei-Wellen-Rig bei der MTU. „Dieser Balanceakt beginnt schon bei den ersten Entwürfen und Modellierungen und zieht sich bis zum Ende der Entwicklung, wenn wir die Interaktion der Luftströmungen auf dem M2VP-Prüfstand messen.“



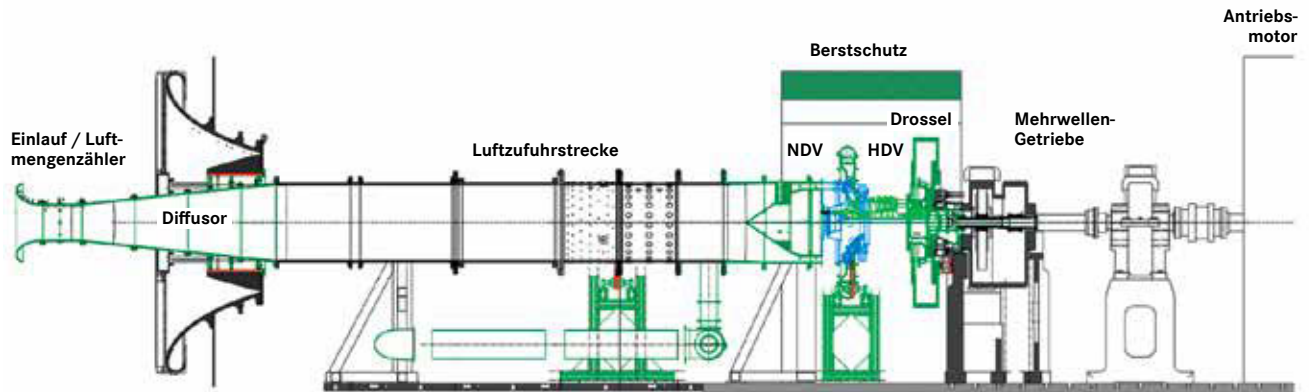
### **Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)** —

Das DLR ist das Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Es betreibt Forschung und Entwicklung in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und Verkehr, Sicherheit und Digitalisierung.

Die 55 Institute und Einrichtungen und ihre 10.000 Mitarbeiter:innen haben eine gemeinsame Mission: Die Erforschung von Erde und Weltall sowie die Entwicklung von Technologien für eine nachhaltige Zukunft.

Speziell für die Luftfahrt erarbeitet das DLR Lösungen für die aktuelle und die kommende Technologie-Generation. Mit seiner Forschungskompetenz für das Gesamtsystem Luftfahrt folgt es dem Anspruch, fundierte Vorschläge für die übernächste Generation zu entwerfen und damit neue Perspektiven aufzuzeigen. Die MTU arbeitet mit dem DLR bereits seit den 1990er Jahren zusammen.

## 2-WELLEN-AXIALVERDICHTER PRÜFSTAND (M2VP)



Stufen der Hoch- und Niederdruckverdichter sowie der Übergangskanal, der die beiden verbindet, werden auf dem M2VP zu einem „Zwei-Wellen-Rig“ zusammengefügt. Damit können die aerodynamischen Zusammenhänge zwischen den Modulen gemessen werden: Wie beeinflussen die Luftströmungen von Hoch- beziehungsweise Niederdruckverdichter die Dynamik im Übergangskanal? Dieser muss einen optimalen Luftstrom gewährleisten und gleichzeitig möglichst kurz sein, um Gewicht und damit Treibstoff zu sparen.

### Kooperation in allen Stadien der Entwicklung

Die MTU arbeitet bei all diesen Entwicklungsschritten eng mit dem DLR zusammen: Mit dem von beiden Partnern gemeinsam entwickelten aerodynamischen Simulationstool TRACE beispielsweise lassen sich dreidimensionale, instationäre Strömungen in Verdichter und Turbinenelementen simulieren, Verluste reduzieren und Geräusch-Emissionen verringern. Auch den Übergangskanal für die nächste Getriebefan-Generation, der jetzt getestet wird, haben die MTU-Ingenieur:innen mit dieser Software optimiert. Die in München gefertigten Prototypen wurden vor drei Jahren in Köln im DLR-Institut für Antriebstechnik aufgebaut und an einem speziellen Teststand für ICD-Rigs – die Abkürzung steht für Inter Compressor Duct – getestet. „Mit Hilfe dieser Untersuchungen konnten wir gezielt den Grenzbereich untersuchen, bei dem die Strömung ablöst – diese Modellvalidierung war ein wichtiger Schritt für alle künftigen Entwicklungen“, betont Nakaten. Was jetzt noch fehlt, ist eine genaue Analyse der Interaktion zwischen den Modulen: Wie beeinflussen die Luftströmungen von Hoch- beziehungsweise Niederdruckverdichter die Dynamik im Übergangskanal? Gibt es bremsende Wirbel? Oder ist die Form schon optimal und erhöht die Effizienz beim Fliegen?

Diese Fragen kann nur eine Untersuchung auf dem Mehrstufen-2-Wellen-Axialverdichter Prüfstand beantworten. Dafür müssen die MTU-Ingenieur:innen im Kölner Labor des DLR alle Einzelteile wieder zusammenfügen und dann zu einem „Zwei-

Wellen-Rig“, verbinden – so heißt der Prüfling, der aus zwei Verdichtern sowie dem Übergangskanal besteht. Wenn dieses Rig in die Prüfvorrichtung integriert ist und alle Module an Motoren und Sensorsysteme angeschlossen sind, können die Untersuchungen beginnen: Zunächst werden die aerodynamischen Zusammenhänge zwischen den Modulen gemessen. Die Ergebnisse lassen sich dann mit den Computermodellen abgleichen. Wenn nötig, können die Ingenieur:innen noch weiter optimieren.

### Effizienz steigern, Schadstoffe vermeiden

„Letztlich wollen wir klimarelevante Emissionen so weit wie möglich reduzieren. Kohlendioxid ist hier ein wesentlicher Beitrag, welcher sich durch eine höhere Effizienz und der damit einhergehenden Verbrauchsreduktion verringern lässt“, betont Dr. Martin Stadlbauer, Leiter Vorauslegung zivile und militärische Programme bei der MTU. „Die nächste Generation von Getriebefans aus der Pratt & Whitney GTF™ Triebwerksfamilie soll – verglichen mit den bereits sehr effizienten Modellen der ersten Generation – noch einmal deutlich weniger Kohlendioxid ausstoßen.“

Die Weiterentwicklung der Getriebefan-Technologie ist dabei nur eines von mehreren Projekten, in denen die Forscher:innen beim DLR zusammen mit den Ingenieur:innen bei der MTU neue Technologien entwickeln, die das Fliegen umweltverträglicher machen: Die Flying Fuel Cell beispielsweise soll Wasserstoff in Strom verwandeln, der dann für den Antrieb eines Flugzeugs ge-

nutzt werden kann. Ein erster elektrischer Antriebsstrang wird in ein Forschungsflugzeug des DLR, eine Do 228, eingebaut. Ein anderes zukunftsweisendes Antriebskonzept ist das WET-Konzept, bei der die Restwärme aus dem Abgas des Triebwerks genutzt wird. Hierzu wird mittels eines Dampferzeugers Wasser verdampft und in die Brennkammer eingespritzt. Eine solche nasse Verbrennung erhöht die Effizienz des Triebwerks und mindert massiv den Ausstoß von Stickoxiden. „Bei all diesen Projekten ist die Kooperation mit dem DLR fundamental“, betont Dr. Arne Weckend, Repräsentant Technologie-Kooperation bei der MTU. „Die Expert:innen dort verfügen nicht nur über ein einzigartiges Detailwissen, sondern auch das Know-how um den Einfluss der Luftfahrt auf Atmosphäre und Klima zu bewerten.“

Von der Zusammenarbeit mit dem Industriepartner profitiert man auch beim DLR, beteuert Tiedemann: „Wir wollen mit unserer Forschung die Luftfahrt sauberer machen. Dafür ist es wichtig, dass wir gemeinsam mit den Herstellern die Effizienz einzelner Bauteile aber auch ganzer Antriebe und Flugzeuge verbessern und praxistaugliche Lösungen für klimaneutrales Fliegen erarbeiten“.

#### WEITERE INFORMATIONEN ZUM THEMA:

Kurz erklärt:  
So funktioniert  
die Flying Fuel Cell  
[www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)



Kurz erklärt:  
So funktioniert  
das WET-Konzept  
[www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)



#### AUTORIN:



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

## Kooperation auf allen Ebenen

*Die Liste der Kooperationsprojekte ist lang und sie wird immer länger. Seit Jahren arbeiten die Ingenieur:innen bei der MTU eng mit den Forscher:innen beim DLR zusammen – von der Erforschung neuer Materialien bis hin zur Entwicklung neuer Triebwerkskonzepte.*

*Für die Auslegung neuer Triebwerke haben DLR und MTU gemeinsam das Simulationsprogramm TRACE entwickelt. Dieses wird eingesetzt, um beispielsweise Triebwerksschaufeln aerodynamisch und aeroelastisch zu optimieren. Mit dem Simulations-Programm lässt sich der Wirkungsgrad des Triebwerks steigern und die Stabilität der Schaufeln sicherstellen, die durch die Luftbewegung während des Flugbetriebs in Schwingung versetzt werden.*



#### Mathematischer Trick

Das Simulationstool TRACE erlaubt die Optimierung von Triebwerken. Es kann den Aerodynamikdesignern binnen Stunden ein vierdimensionales Strömungsmodell liefern.

#### Aufwändige Berechnungen

Mit Hilfe des Simulationstools lassen sich heute nicht nur laminare, sondern auch turbulente Luftströmungen sowie deren zeitlicher Verlauf – also die 4. Dimension – darstellen.

*Ein weiterer Schwerpunkt der Zusammenarbeit von MTU und DLR ist die Erforschung der Eigenschaften neuer metallischer Werkstoffe und Verbundwerkstoffe. Mit Hilfe von Simulationen und umfangreicher Probenprogramme unter anwendungsnahen Bedingungen wird sichergestellt, dass diese neuen Materialien geeignet sind für den Einsatz im Triebwerk.*

*Gemeinsam entwickeln die Expert:innen von MTU und DLR auch neuartige Schutzschichten für Triebwerksbauteile, die die thermische Belastung im Betrieb senken und die Lebensdauer der Bauteile erhöhen.*

*In weiteren Forschungsprojekten untersuchen die Ingenieur:innen von DLR und MTU auch, wie das Triebwerk – beziehungsweise die Interaktion mit dem Flugzeug – die Lärmemission beeinflusst. Diese Forschungen sind die Basis für neue Designs, mit denen sich der Lärmpegel verringern lässt.*



FORSCHUNGSNETZWERK: UNIVERSITÄTEN UND MTU

# Hightech-Forschung der klügsten Köpfe

*Die anwendungsnahe Forschung mit exzellenten Hochschulpartnern liefert der MTU wichtige Impulse und Kenntnisse – etwa für die Technologieentwicklung in der Instandhaltung.*

**Autorin:** Nicole Geffert



*„Auch in der Instandhaltung gibt es keinen Stillstand in der Technologieentwicklung. Unser MRO-Gesamtprozess soll weiter optimiert und noch effizienter werden.“*

**Dr. Jörn Städing**, *Technologiekordinator MRO bei der MTU Maintenance Hannover*

Auf den Prüfständen der MTU Maintenance Hannover herrscht Hochbetrieb. Eng getaktet absolvieren hier instandgesetzte Triebwerke die erforderlichen Abnahmeläufe. Um in diesem straffen Zeitplan Sondertests zu Forschungszwecken zu integrieren, bedarf es einer reibungslosen Zusammenarbeit. Wie das gelingen kann, haben die MTU und die Teams zweier MTU-Forschungspartner bewiesen: Am Start waren das Institut für Flugantriebe und Strömungsmaschinen (IFAS) der Technischen Universität Braunschweig sowie das Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik (TFD) der Leibniz Universität Hannover (LUH).

„Unsere Hochschulpartner haben eine starke Leistung gezeigt“, sagt Dr. Jörn Städing, Technologiekordinator MRO bei der MTU Maintenance Hannover. Auf dem Programm stand ein komplexer Back-to-Back-Test, in dem es um die Gegenüberstellung von Testergebnissen zweier unterschiedlicher Hochdruckverdichter-Konfigurationen geht. Der Test ist Teil eines gemeinsamen Technologieprojekts von der MTU und dem IFAS. Zu diesem Zweck wurde das V2500-Forschungstriebwerk des IFAS zweimal innerhalb weniger Monate auf dem MTU-Prüfstand eingerüstet und mit Sondermesstechnik ausgestattet. Das Forschungsteam des TFD nutzte den Sondertest wiederum für eine Abgasstrahlanalyse. Dabei wurde ein neuartiges Verfahren zur Früherkennung von Schäden im Heißgaspfad getestet, bei dem der Abgasstrahl optisch vermessen wird.

### **Verbesserte Reparaturtechnologien**

Dieser Versuch war Teil eines Projekts im Sonderforschungsbereich (SFB) 871 „Regeneration komplexer Investitionsgüter“, angesiedelt an der

LUH. Seit 2010 erforschte ein interdisziplinäres Wissenschaftsteam am Beispiel eines zivilen Flugzeugtriebwerks, wie etwa komplexe Bauteile effizient und ressourcenschonend repariert werden können. „In dem Sonderforschungsbereich wurde eine Vielzahl verschiedener Technologien rund um die Instandsetzung von Triebwerken entwickelt – von neuartigen optischen Messmethoden über Schweißreparaturen bis hin zu Produktionsplanungsverfahren“, sagt Dr. Michael Bartelt, Leiter Industrial Engineering bei der MTU Maintenance Hannover. „Die Zusammenarbeit mit unseren Hochschulpartnern ist für die MTU als Instandhaltungsspezialisten äußerst wertvoll und zeigt gut, wie der Brückenschlag zwischen Grundlagenforschung und praktischer Anwendung in der Industrie gelingen kann“, so Bartelt weiter.

Die MTU stand im Austausch mit dem SFB 871. „Auch in der Instandhaltung gibt es keinen Stillstand in der Technologieentwicklung“, sagt Städing. „Unser MRO-Gesamtprozess soll weiter optimiert und noch effizienter werden. Darüber hinaus kann technologischer Fortschritt auch gänzlich neue MRO-Produkte ermöglichen – beispielsweise in Form spezieller Instandhaltungsdienstleistungen.“

Die Zusammenarbeit mit leistungsstarken Hochschulen und Instituten ist ein fester Bestandteil der Forschung und Entwicklung bei der MTU. Die Kooperationen liefern wichtige Impulse und neue Kenntnisse. Und für Grundlagenforschung bleibt den MTU-Expert:innen, die ins Tagesgeschäft eingebunden sind, kaum Zeit. Hier baut die MTU deshalb auf die Zusammenarbeit mit den Hochschulen.



**Ausstattung mit Sondermesstechnik** — Auf dem Prüfstand der MTU führten die Forschungsteams der Universitäten verschiedene Tests an einem V2500-Triebwerk durch.



**Blick aus der Messwarte** — Bei den am Prüfstand durchgeführten Back-to-Back-Tests geht es um die Gegenüberstellung von Testergebnissen aus weiteren noch geplanten Testläufen.

## Kompetent kooperieren

*Die MTU hat gemeinsam mit leistungsstarken Universitäten in Deutschland Kompetenzzentren gegründet, in denen die besten Köpfe zusammenarbeiten – diese Kompetenzzentren sind themen- und produktspezifisch ausgewählt. In den Kompetenzzentren wird nicht nur Grundlagenforschung betrieben, sondern auch anwendungsnah geforscht. Darüber hinaus konnte die MTU aus diesen Kooperationen bereits zahlreiche exzellente Nachwuchskräfte gewinnen.*

### **RWTH Aachen:**

#### **Verdichter und Fertigung**

*Forschungspartner der MTU sind das Werkzeugmaschinenlabor, vertreten durch den Lehrstuhl für Technologie der Fertigungsverfahren, sowie das Institut für Strahlantriebe und Turboarbeitsmaschinen.*

### **Universität Stuttgart:**

#### **Turbinen-Testing & Thermodynamik**

*MTU-Expert:innen kooperieren hier mit Wissenschaftler:innen des Instituts für Luftfahrtantriebe und des Instituts für Thermodynamik der Luft- und Raumfahrt.*

### **Universität der Bundeswehr in München:**

#### **Militärische Antriebssysteme**

*Die MTU forscht in enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Strahlantriebe, dem Lehrstuhl für Elektrische Antriebstechnik sowie dem Lehrstuhl für Sensorik und Messsysteme.*

### **Technische Universität München:**

#### **Bauweisen**

*Gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Turbomaschinen und Flugantriebe, dem Lehrstuhl für Werkstoffkunde und Werkstoffmechanik sowie dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften arbeitet die MTU an neuen Technologien.*

### **Leibniz Universität Hannover/ Laser Zentrum:**

#### **Turbine & MRO**

*Kooperationspartner der MTU in München und der MTU Maintenance Hannover sind im Schwerpunkt Maintenance, Repair & Overhaul (MRO) das Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen, das Institut für Werkstoffkunde und das Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik (TFD) der Leibniz Universität Hannover (LUH) sowie das Laser Zentrum Hannover und die TU Braunschweig mit dem Institut für Flugantriebe und Strömungsmaschinen. Im Schwerpunkt Turbine arbeitet die MTU eng zusammen mit dem TFD und dem Institut für Dynamik und Schwingungen der LUH.*

### **Langfristige, strategische Partnerschaften**

„Mit ausgesuchten Universitäten hat die MTU Kompetenzzentren gegründet“, erklärt Ann-Kathrin Jung, Programmkoordinatorin Technologie-Partnermanagement bei der MTU. „Mit diesen Hochschulen unterhalten wir langfristige, strategische Partnerschaften und führen besondere Forschungsprojekte auf dem Gebiet unserer Kernkompetenzen durch.“ Zusätzlich zu den Kompetenzzentren kooperiert die MTU für spezifische Fragestellungen mit weiteren hochkarätigen Hochschulpartnern.

Mindestens genauso wichtig wie die akademische Fachkompetenz sind eine langjährige, enge Zusammenarbeit und ein intensiver, persönlicher Dialog. Mit der LUH und dem Laser Zentrum Hannover hat die MTU 2008 das Kompetenzzentrum „Maintenance, Repair & Overhaul“ gegründet, um gemeinsam an Zukunftsthemen in der Reparaturoentwicklung und Instandhaltungsstrategie zu forschen. Zum Kompetenzzentrum gehört seit 2019 auch die TU Braunschweig mit dem IFAS.

„Die technologische Kompetenz der MTU und ihre hohen Anforderungen an uns machen den Reiz der offenen und vertrauensvollen Zusammenarbeit aus“, sagt Professor Jörg Seume, Leiter des Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik an der LUH. Die Hochschulen forschen unabhängig, aber im Rahmen der Kooperation auch anwendungsorientiert. Für die Forschungsaktivitäten im SFB 871 stellte die MTU nicht nur ihren Prüfstand, sondern auch betriebsbeanspruchte Komponenten zur Verfügung, damit die Forschungsteams die Auswirkungen des Verschleißes untersuchen können.

### **Transfer in die industrielle Anwendung**

„Die Kooperation mit der MTU ermöglicht uns, unsere Methoden in einer realen industriellen Umgebung zu erproben“, sagt Seume. So konnte das TFD-Team in über 12 Jahren anspruchsvoller Projektarbeit ein tieferes Verständnis für die komponentenübergreifenden Effekte in einem Triebwerk gewinnen. Seume: „Viele Ergebnisse haben eine Reife erreicht, die den Transfer in die industrielle Anwendung ermöglichen.“



**Frühwarnsystem für Triebwerke** — Das von der MTU entwickelte Engine Trend Monitoring überwacht alle wichtigen Parameter während des Flugs. Schon kleinste Abweichungen werden erkannt und können vorausschauend behoben werden.



**Zustandsüberwachung von Triebwerken** — Beim Institut für Luftfahrtantriebe (ILA) der Universität Stuttgart können auf Prüfständen ganze Triebwerke oder ihre Module in Betrieb genommen werden. Sie werden dort über einzelne Messgeräte und Hochleistungsrechner auf ihr Verhalten in großen Flughöhen untersucht.

Auf dem Gebiet vorausschauender Instandhaltung (Predictive Maintenance) arbeitet die MTU mit einem weiteren exzellenten Partner zusammen: 2006 hat sie mit der Universität Stuttgart das gemeinsame Kompetenzzentrum für Turbinen-Testing und Thermodynamik gegründet. Forschungspartner der MTU sind die Institute für Luftfahrtantriebe (ILA) und Thermodynamik der Luft- und Raumfahrt (ITLR). Im ILA trifft die MTU auf Wissenschaftler:innen, die auf den Gebieten Lebenszyklusanalyse, Strukturmechanik, Flugantriebe der Zukunft und Zustandsüberwachung forschen.

Um den Zustand von Triebwerken zu überwachen, hat die MTU das Engine Trend Monitoring (ETM) entwickelt, das wichtige im Flug gemessene Parameter eines Triebwerks beobachtet und bewertet. Mit den gewonnenen Erkenntnissen und den Erfahrungswerten aus Shop Visits lassen sich Auffälligkeiten frühzeitig feststellen und Triebwerksausfälle vermeiden. „Das ETM-System wird laufend weiterentwickelt, und das ILA ist dabei ein wichtiger Partner für uns“, sagt Jürgen Mathes, Experte für Engine Health Monitoring bei der MTU Aero Engines.

### Hohe Motivation der Hochschulpartner

Statt zwei bis fünf diskreter Datenpunkte pro Flug werden künftig kontinuierlich Daten aufgezeichnet. Die Fachleute sprechen von Full Flight Data, wenn pro Sekunde ein Datenpunkt aufgenommen wird. Um diese 1-Hertz Daten für das ETM nutzbar zu machen, sind innovative Methoden aus den Bereichen fortschrittliche Datenanalyse und maschinelles Lernen unabdingbar. Mathes: „Für die Entwicklung dieser zukunftsweisenden Methoden ist eine Kombination aus den Expertisen Luftfahrtantriebe und Datenanalyse gefragt.“

Und diese Expertise findet die MTU im ILA, das von Professor Stephan Staudacher geleitet wird. „In der jetzigen Phase der Zustandsüberwachung spielen Algorithmen wie künstliche neuronale Netze eine wichtige Rolle“, sagt er. „Wir forschen auch auf diesem Gebiet und vermitteln der MTU die fachlich passenden Studierenden und Doktoranden, die Lösungsansätze im Rahmen einer Master- oder Promotionsarbeit entwickeln.“

Mathes spürt die hohe Motivation: „Mit unseren Hochschulpartnern wie dem ILA entwickeln wir gemeinsam kontinuierlich neue, zukunftsweisende Projekte.“ Durch die Praxishäufigkeit sichert sich die MTU zudem frühzeitig Nachwuchskräfte von den Hochschulen. Staudacher sieht die Kooperation mit der MTU auch als Teil einer hochwertigen wissenschaftlichen Ausbildung: „Die jungen Menschen lernen die Regeln solcher Partnerschaften kennen und wie man verlässlich und vertrauensvoll agiert.“ Und er freut sich, wenn Absolvent:innen seines Instituts bei der MTU einen interessanten Job gefunden haben. „Die MTU ist wegen ihrer Unternehmenskultur gerade auch für junge Menschen attraktiv“, so der Institutsleiter.

Den persönlichen Kontakt zu den Hochschulen hält Mathes für sehr wichtig. Entsprechend hat er zugesagt, in einer Vorlesung am ILA über das ETM in der Praxis zu berichten – um dabei auch die Chance zu nutzen, auf die MTU als Technologieführer und innovativen Arbeitgeber aufmerksam zu machen.

### AUTORIN:



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



FORSCHUNGSNETZWERK: BAUHAUS LUFTFAHRT UND MTU

# Zukunft gemeinsam denken

*Zusammen mit dem Bauhaus Luftfahrt erarbeitet die MTU  
Konfigurationen für neue emissionsarme Antriebe.*

*Aktuelles Beispiel: der Water-Enhanced Turbofan, kurz: WET.*

**Autorin:** *Monika Weiner*

### Water-Enhanced Turbofan —

Das WET-Konzept nutzt die Restwärme aus dem Abgas des Triebwerks. Hierzu wird mittels eines Dampferzeugers Wasser verdampft und in die Brennkammer eingespritzt. Eine solche nasse Verbrennung mindert massiv den Ausstoß von Stickoxiden. Das notwendige Wasser wird in einem Kondensator mit anschließender Wasserabscheidung aus dem Abgas gewonnen. Kraftstoffverbrauch, CO<sub>2</sub>-Emissionen und die Bildung von Kondensstreifen sinken ebenfalls stark.



Wie sieht das Flugzeug von morgen aus? Intensiv haben Ingenieur:innen in kleinen virtuellen Teams an Technologie- und Design-Vorschlägen gearbeitet. Ohne Denkverbote. Ergebnisoffen. Jetzt projiziert der Beamer das erste von neun Konzepten an die Wand. Ingenieur:innen von der MTU Aero Engines und dem Bauhaus Luftfahrt sind an diesem Tag im Seminarraum auf dem Ludwig Bölkow Campus in Taufkirchen bei München zusammengelassen.

Auf der Tagesordnung stehen zukünftige Antriebskonzepte. Um die ehrgeizigen Ziele des Pariser Klimaabkommens, die Temperaturerhöhung auf möglichst 1,5 Grad Celsius gegenüber der vorindustriellen Zeit zu begrenzen, zu erreichen, ist die evolutionäre Weiterentwicklung der Gasturbine nicht ausreichend – es sind revolutionäre Antriebskonzepte gefragt. Eines davon ist das WET-Konzept – die Abkürzung steht für Water-Enhanced Turbofan. Damit können voraussichtlich alle klimawirkenden Effekte – Kohlendioxid, Stickoxid und Kondensstreifen – in hohem Maße reduziert werden. Verglichen mit derzeitigen Flugzeugantrieben wäre die gasturbinenbasierte WET-Technologie auch deutlich effizienter, da es die Restwärme des Abgasstrahls des Triebwerks nutzt.

Doch wie muss ein solcher Turbofan aussehen? Und wie lässt er sich in ein Flugzeug integrieren? Soll man ihn unter den Flügeln montieren wie ein klassisches Triebwerk? Oder muss man ihn ganz anders integrieren und damit das komplette Design des Flugzeugs verändern? „Das

WET-Konzept ist eine revolutionäre Idee, die sich noch in einer sehr frühen Phase befindet, und genau jetzt, in dieser frühen Phase, ist der richtige Zeitpunkt, diese Fragen zu stellen“, betont Fabian Donus, Leiter des MTU-Innovationsmanagements. „Die Kooperation mit dem Bauhaus Luftfahrt hilft uns, Antworten zu finden: Das Team verfügt über die nötige Kompetenz, unsere Triebwerks-Designs in komplette Flugzeugmodelle zu integrieren. Nur so kann das optimale Design identifiziert werden.“

### Programme, die sehen, was es noch gar nicht gibt

Labore, Messgeräte und Prüfeinrichtungen sucht man beim Bauhaus Luftfahrt in Taufkirchen bei München vergeblich. Die Mitarbeiter:innen auf dem Ludwig Bölkow Campus sitzen in Büros und arbeiten an PCs. Ihre Forschung ist vor allem virtuell. „Mit Hilfe von Simulationsprogrammen können wir beispielsweise das aerodynamische Verhalten simulieren und wichtige Auslegungsparameter wie Widerstand, Gewicht und Effizienz, ermitteln – lange bevor ein Flugzeug gebaut wird. So lassen sich auch für das WET-Konzept Energiebedarf, Kraftstoffverbrauch und die Auswirkungen auf das Klima berechnen“, erklärt Dr. Jochen Kaiser, Head of Visionary Aircraft Concepts beim Bauhaus. Und weiter: „Ein verändertes Design von Flugzeug und Triebwerk kann diese Kennwerte verbessern oder auch verschlechtern. Daher ist es so wichtig, dass wir schon in einer frühen Entwicklungsphase simulieren, ob ein Konzept geeignet ist, Energie zu sparen und die Klimawirkung zu senken.“

*„Mit Hilfe von Simulationsprogrammen können wir beispielsweise das aerodynamische Verhalten simulieren und wichtige Auslegungsparameter wie Widerstand, Gewicht und Effizienz, ermitteln – lange bevor ein Flugzeug gebaut wird.“*

---

**Dr. Jochen Kaiser**, Head of Visionary Aircraft Concepts bei Bauhaus Luftfahrt

---



### Spezialist:innen für solche

**Simulationen** — Das Bauhaus Luftfahrt ist eine gemeinnützige Forschungseinrichtung. Mitglieder sind Airbus, IABG, Liebherr-Aerospace und die MTU Aero Engines – sowie das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie und seit 2020 auch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR).

Die Bauhaus-Ingenieur:innen sind Spezialist:innen für solche Simulationen: Über viele Jahre haben sie die notwendigen Kompetenzen und Methoden für den konzeptuellen Flugzeugentwurf aufgebaut. Mit ihnen lassen sich die Auswirkungen neuer Antriebskonzepte auf den gesamten Flugzeugentwurf bewerten. Damit kann letztendlich die Leistungsfähigkeit zukünftiger Verkehrsflugzeuge sowie deren verbesserter Einfluss auf die Umwelt frühzeitig betrachtet werden.

Für alle Konfigurationen von Triebwerk und Flugzeug, die bei WET zur Diskussion stehen, haben die Bauhaus-Expert:innen die Leistungsdaten ermittelt. „Der Charme der Simulationen liegt darin, dass man alles ausprobieren kann. Weil alles virtuell ist, lassen sich verschiedene Möglichkeiten visualisieren und bewerten. Das ist für die Entscheidungsfindung enorm hilfreich“, erläutert Dr. Sascha Kaiser, Projektleiter Water-Enhanced Turbofan bei der MTU. Am Ende fällt die Wahl auf ein Design mit Triebwerksgondeln, die – wie gewohnt – unter den Flügeln montiert werden können. Die Lösung hat mehrere Vorteile: Das Flugzeug muss nur wenig verändert werden, der Antrieb ist leicht zugänglich und die Flughafeninfrastruktur lässt sich weiter nutzen.

### Hilfe aus dem multidisziplinären Think-Tank

Die Zusammenarbeit beim WET-Konzept ist nur eines von vielen gemeinsamen Projekten der MTU und des Bauhaus Luftfahrt. „Der Think-Tank ist enorm vielseitig“, betont Dr. Arne Weckend, Repräsentant Technologie-Kooperationen bei der MTU. „Da die Ideenschmiede von verschiedenen Akteuren aus der Branche – Triebwerks- und Flugzeugherstellern sowie Herstellern von Flugzeugsystemen und dem Freistaat Bayern – gegründet wurde und zusätzlich eng mit Flughafenbetreibern und Kraftstoffentwicklern zusammenarbeitet, verfügt das Team über hervorragende inter-

*„Der Charme der Simulationen liegt darin, dass man alles ausprobieren kann. Weil alles virtuell ist, lassen sich verschiedene Möglichkeiten visualisieren und bewerten.“*

---

**Dr. Sascha Kaiser, Projektleiter Water-Enhanced Turbofan**

---

disziplinäre Kontakte und hat übergreifende Kompetenzen bei der Bewertung neuer Luftverkehrskonzepte und Antriebskonzepte, die sich daraus ergeben.“


Die Bauhaus-Expertise ist auch in die Technologie-Agenda Claire der MTU eingeflossen: So saßen die Bauhaus-Expert:innen schon mit am Tisch, als 2007 die erste Claire-Version – die Abkürzung steht für Clean Air Engine – formuliert wurde. Damals stand neben der Reduktion des Lärms und der gesundheitswirkenden Abgasemissionen der Treibstoffverbrauch der unterschiedlichen Triebwerkskonzepte im Vordergrund. Auch an der Claire-Weiterentwicklung in diesem Jahr war das Bauhaus beteiligt – jetzt zielt Claire auf das emissionsfreie Fliegen ab.

### Simulationen für einen emissionsfreien Luftverkehr

Doch kann das gelingen? Die Partner haben zusammen verschiedene Ansätze erarbeitet, wie sich die Klimawirkung der Luftfahrt in Zukunft drastisch reduzieren lässt: Die Entwicklung der WET-Technologie ist einer davon. Ein Produkt würde allerdings erst ab ca. 2035 verfügbar sein. Zuerst müssen sich die Potenziale bestätigen und die Machbarkeit nachgewiesen werden.

Kurzfristig hilft die flächendeckende Nutzung von Sustainable Aviation Fuels, SAF, Emissionen zu reduzieren: Der grüne Kraftstoff kann bereits heute dem normalen Kerosin beigemischt werden. Auch der Water-Enhanced Turbofan kann damit betrieben werden. In naher Zukunft sollen Flugzeuge mit 100 Prozent SAF fliegen, heute sind Beimischungen von maximal 50 Prozent zugelassen. „Die Simulationen des Bauhaus Luftfahrt zeigen, dass auch eine Nutzung von 100% SAF mit hoher Wahrscheinlichkeit ohne großen Mehraufwand möglich wäre und dass man die Triebwerke und Flugzeuge, wenn überhaupt, nur minimal modifizieren müsste“, schildert Donus. „Die Infrastruktur an den Flughäfen könnte wahrscheinlich ebenfalls unverändert genutzt werden.“

Langfristig wird auch ein weiteres Konzept verfügbar sein: die Flying Fuel Cell, kurz FFC. Die Fliegende Brennstoffzelle der MTU wandelt flüssigen Wasserstoff in Strom. Damit treibt ein hocheffizienter Elektromotor den Propeller an. Das hat den Vorteil, dass kein Kohlendioxid, keine Stickoxide und Rußpartikel emittiert werden, lediglich Wasser wird ausgestoßen. Die FFC ist damit nahezu emissionsfrei. Um mit Wasserstoff fliegen zu können, braucht man allerdings neue Flugzeugdesigns, da die Wasserstofftanks deutlich voluminöser sind als Kerosintanks und zusätzlich isoliert werden müssen. Um das Volumen zu minimieren, kann Wasserstoff in der kommerziellen Luftfahrt ausschließlich flüssig, also bei -253 Grad Celsius, genutzt werden. Das Bauhaus-Team erarbeitet hierfür derzeit verschiedene Design-Vorschläge und bewertet außerdem, welche Auswirkungen Herstellung, Transport und Verteilung von Wasserstoff auf die Umwelt und den Preis haben.

„Jeder Ansatz hat Vor- und Nachteile. Man wird im Einzelfall abwägen müssen“, resümiert Jochen Kaiser. „Unsere Simulationen sollen bei der Entscheidungsfindung helfen, indem sie sichtbar machen, in welchem Zeitrahmen und Ausmaß die verschiedenen Technologien die Emissionen der Luftfahrt reduzieren können.“ Auch das Bauhaus Luftfahrt könne schließlich nicht weissagen, fügt der Ingenieur mit einem Augenzwinkern hinzu. „Unser Ziel ist es jedoch, die Technologieoptionen in der Luftfahrt für die kommenden Jahrzehnte realistisch zu bewerten und damit Möglichkeiten aufzuzeigen, die uns emissionsfreies Fliegen ermöglichen werden.“ 

#### AUTORIN:



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



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

*Das Bauhaus Luftfahrt nimmt die großen gesellschaftlichen und ökologischen Herausforderungen unserer Zeit in den Blick und zeigt langfristige Optionen für einen nachhaltigen und klimaneutralen Luftverkehr auf. Ähnlich einem Radar erkennt es frühzeitig die relevanten und innovativen Themen. Mit einem hohen Maß an Kreativität liefern die Forscher:innen revolutionäre und disruptive Ideen mit Fernlicht- und Trendsetterfunktion für das gesamte Luftverkehrs-Ökosystem.*

*Erste integrierte Potenzialanalysen können ebenso durchgeführt werden wie Schnellbewertungen in unterschiedlichen Bewertungsdimensionen (technisch, ökonomisch und ökologisch). Diese Flexibilität schafft ein Gesamtsystemverständnis und eine Kombinationsfähigkeit, wie sie in der nationalen und internationalen Luftfahrtbranche ihresgleichen suchen.*



Fliegen für  
die Forschung



**Das neue DLR-  
Forschungsflugzeug  
„Do 228“ D-CEFD**

*Die „Do 228“ soll zur Erprobung mit einem elektrischen von MTU Aero Engines entwickelten 600 kW-Antriebsstrang einen der konventionellen Antriebsstränge ersetzen.*



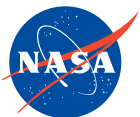
*Forschungsflugzeuge helfen die Auswirkungen der Luftfahrt auf das Klima zu verstehen und neue Technologien zu erproben, um in Zukunft emissionsfrei fliegen zu können.*

**Autorin:** *Monika Weiner*

**Forschen während des Flugs** — Während der Messflüge mit dem Forschungsflugzeug HALO des DLR bedienen jeweils vier Wissenschaftler die insgesamt zwölf Instrumente an Bord, mit denen die chemische Zusammensetzung der Luft untersucht wird.



**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt** — Das DLR ist das Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt.



**NASA** — Die NASA (National Aeronautics and Space Administration) ist die zivile US-Bundesbehörde für Raumfahrt und Flugwissenschaft.

### Wozu braucht man Forschungsflugzeuge, wenn man die Emissionen der Luftfahrt verringern will?

Die Luftfahrt soll sauberer werden. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen die Ingenieur:innen wissen, welche und wie viele Schadstoffe beim Fliegen in die Atmosphäre gelangen und inwieweit neue Treibstoffe oder Antriebstechniken die Emissionen verringern.

Mit Forschungsflugzeugen lässt sich herausfinden, welche Substanzen das Triebwerk eines Flugzeugs während des Fluges freisetzt. So wird bei In-Flight-Emissionsstudien unter anderem gemessen, wann wie viel Wasser, Treibhausgase, Feinstaub oder Ruß ausgestoßen werden, oder ob sich Kondensstreifen bilden.

### Wie sehen solche Forschungsflugzeuge aus?

Forschungsflugzeuge sind fliegende Labore. Ausgerüstet mit einer umfangreichen Sensorik und Analytik können sie während des Fluges unter anderem Temperatur, Wind, Luftqualität, Schadstoffe und Wolkendichte bestimmen. Die meisten Forschungsflugzeuge sind umgebaute Verkehrs- oder Geschäftsreiseflugzeuge, in deren Kabinen Platz geschaffen wurde für Messgeräte und Computer. Je nach Ausstattung können sie für verschiedene wissenschaftliche Missionen

eingesetzt werden – von der Klimaforschung bis zur Erdbeobachtung. Nur ganz wenige Forschungsflugzeuge wie die McDonnell Douglas DC-8 der NASA und die Falcon 20-E5 des DLR sind geeignet, In-Flight-Emissionsmessungen bei Verkehrsflugzeugen durchzuführen.

### Fliegen im Abgasstrom – eine Herausforderung für die Crew

Ein Forschungsflugzeug, das die Emissionen eines Verkehrsflugzeugs während des Fluges messen soll, muss in möglichst geringem Abstand hinter diesem herfliegen. Dies ist eine enorme Herausforderung – sowohl für die Crew als auch für das Flugzeug, da das vorausfliegende Verkehrsflugzeug starke Turbulenzen erzeugt. Diese Luftverwirbelungen, auch Wirbelschleppen genannt, entstehen zwangsläufig beim Fliegen bei der Auftriebserzeugung durch die Tragflächen. Da unter dem Flügel ein Überdruck und oberhalb des Flügels ein Unterdruck herrscht, bilden sich am Ende der beiden Flügel zwei gegenläufig drehende Wirbel. Diese Turbulenzen können für ein nachfolgendes Flugzeug extrem gefährlich werden. Die Douglas DC-8 der NASA beispielsweise muss aus Sicherheitsgründen mehrere Meilen Abstand zum vorausfliegenden Flugzeug halten. Nur mit einem sehr robusten und sehr wendigen Flugzeug wie der Falcon 20-E5 des DLR lassen

sich Messungen direkt im Abgasstrom durchführen. Pilot:innen, die solche Missionen fliegen, brauchen dafür eine eigene Ausbildung und spezielles Training. Wegen der hohen Beanspruchung muss die Maschine nach jedem Einsatz inspiziert werden.

#### Welche Messgeräte sind bei solchen Missionen an Bord?

Die Ausstattung ist abhängig vom Flugzeugtypus und von der Mission. Am Bug der Falcon 20-E5 wurde beispielsweise ein Nasenmast befestigt. In diesem befinden sich meteorologische Sensoren, die hochpräzise die Windrichtung in drei Dimensionen, die Feuchte, den Druck und die Temperatur bestimmen. Während des Fluges wird außerdem die Umgebungsluft durch spezielle Lufteinlässe ins Innere der Maschine geleitet und dort auf Spurengase untersucht. Gleichzeitig erfassen Sonden, die sich unter den Tragflächen befinden, Feinstaub-, Ruß- und Eispartikel.

Das deutlich größere Atmosphärenforschungsflugzeug HALO – ein Business-Jet vom Typ Gulfstream G550 – ist ausgerüstet für die Erforschung der grundlegenden Atmosphärenphysik. Dieses „High Altitude and Long Range Research Aircraft“ hat 20 Öffnungen für Lufteinlässe und bis zu 50 Zentimeter große optische Fenster, durch welche mit Lasern die Eigenschaften der Wolken gemessen werden können.

#### Welche neuen Erkenntnisse bringen die Emissionsmessungen?

Die Forschungsflüge der vergangenen Jahre haben gezeigt, dass sich die Emissionen im Luftverkehr verringern lassen. Beispielsweise durch nachhaltige Kraftstoffe, die mit Hilfe regenerativer Energie gewonnen werden können und weder Aromate noch

## Abheben im Auftrag der Wissenschaft

Weltweit gibt es einige Dutzend Forschungsflugzeuge. Meist werden sie betrieben von Forschungseinrichtungen oder -behörden wie der NASA oder dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) – dieses verfügt mit zwölf Maschinen über die größte Forschungsflotte Europas. Zu ihr gehört auch das speziell für Untersuchungen der Atmosphärenphysik ausgerüstete High Altitude and Long Range Research Aircraft HALO sowie die kleine und wendige Falcon 20-E5, die im Abstand von nur wenigen hundert Metern direkt im Abgasstrom eines Jets fliegen kann. Die DC-8 der NASA lässt sich ebenfalls für Emissionsmessungen einsetzen, muss dabei jedoch wegen ihrer Größe mehr Abstand halten.



#### High Altitude and Long Range Research Aircraft —

Mit dem Forschungsflugzeug HALO beginnt ein neues Kapitel in der Geschichte der deutschen Atmosphärenforschung und Erdbeobachtung. HALO basiert auf einem Ultra Long Range Business Jet G550 der Firma Gulfstream.



**Dassault Falcon 20-E5** — Das Flugzeug der Forschungsabteilung in Oberpfaffenhofen für Versuche in der Umwelt- und Klimaforschung. Durch die kompakte Bauform und Auslegung des Flugzeugs verfügt diese Falcon über eine sehr hohe Wendigkeit.



**Douglas DC-8** — Die NASA betreibt einen stark modifizierten Douglas DC-8-Jetliner als fliegendes Wissenschaftslabor. Das Flugzeug wird verwendet, um Daten zu sammeln, die der wissenschaftlichen Gemeinschaft der Welt dienen.



**Betanken des A350** — Am Standort in Toulouse wird der Airbus A350-900 für den ersten Flug mit 100 Prozent nachhaltigem Flugkraftstoff betankt.



**Das neue DLR-Forschungsflugzeug „Do 228“ D-CEFD**

*Das neue DLR-Forschungsflugzeug dient zur Erprobung elektrischer Antriebe.*

Schwefel enthalten. Bereits bei der Mission 2018, bei der die Douglas DC-8 der NASA einem Airbus A320 des DLR folgte, der mit 50 Prozent nachhaltigem Kraftstoff betankt war, stellten die Forscher:innen eine – verglichen mit herkömmlichem Treibstoff – verringerte Rußemission fest.

Bei der Forschungsmission 2021 – hier folgte die Falcon 20-E5 des DLR einem Airbus A350, der ausschließlich mit nachhaltigem Kraftstoff flog – wurden noch weniger Rußpartikel gemessen. Besonders interessant ist dies, weil an den Rußpartikeln der Wasserdampf aus dem Abgasstrom und aus der Umgebungsluft kondensieren kann. Ist die Umgebungsluft in 8 bis 12 Kilometern Flughöhe kalt genug, erstarren die Tröpfchen zu Eiskristallen und bilden Kondensstreifen, die mehrere Stunden am Himmel stehen und zur Klimaerwärmung beitragen können, indem sie die Abstrahlung der Wärme ins All verringern. Weniger Ruß – und damit verbunden auch weniger Kondensstreifen – sind daher gut für das Klima.

**Geht Fliegen ganz ohne Emissionen?**

Eine saubere Alternative zu herkömmlichen Treibstoffen ist Wasserstoff. Dieser kann nachhaltig mit Ökostrom hergestellt und im Flugzeug mit Hilfe einer Brennstoffzelle in Strom verwandelt werden. Übrig bleibt bei diesem Prozess nur

Wasser. Der in der Brennstoffzelle gewonnene Strom lässt sich nutzen, um das Flugzeug mit Hilfe eines Elektromotors und eines Propellers zur Vortriebserzeugung anzutreiben. Hierfür braucht man jedoch eine komplett neue, elektrische Antriebstechnik.

Diese wird derzeit von der MTU Aero Engines zusammen mit dem DLR entwickelt. Die Ingenieur:innen bei der MTU arbeiten bereits an einem elektrischen 600kW-Antriebsstrang. Dieser soll dann in einem DLR-Forschungsflugzeug vom Typ Do 228 erprobt werden. Aus Sicherheitsgründen wird nur einer der Antriebe durch einen elektrischen ersetzt, auf diese Weise kann die Maschine im Notfall mit dem zweiten Turbo-prop-Triebwerk noch fliegen und landen. Mitte der Dekade sollen die Testflüge beginnen.

**Welchen Beitrag können Forschungsflugzeuge in Zukunft für die Luftfahrt leisten?**

Um das Fliegen in Zukunft nicht nur emissionsfrei, sondern auch effizienter zu machen, wollen die Forscher:innen in Zukunft auch die Flugphysik verbessern. Um beispielsweise mit weniger Kraftstoff und möglichst ohne Kondensstreifen ans Ziel zu kommen, könnte man die Aerodynamik verbessern und gleichzeitig auch die Flugrouten optimieren. Die fliegende Forschungsplattform



**Test der Wolkensonde an der Falcon 20E** — Vor einem Flug des DLR-Forschungsflugzeugs werden die Wolkensonden getestet, die im Flug physikalische Eigenschaften der Eiskristalle im Kondensstreifen messen.



**HALO** — Insgesamt zwölf Instrumente sind mit an Bord, wenn der Forschungsflieger HALO des DLR zu Messflügen fliegt.

#### AUTORIN:




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

#### WEITERE INTERESSANTE ARTIKEL:

SAF im Prüfstand  
[www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)

Das DLR erprobt neue  
leise Anflugverfahren  
[www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)

Falcon 2000LX ISTAR soll dabei helfen. Die Abkürzung ISTAR steht für „In-flight Systems & Technology Airborne Research“. Dieses Forschungsflugzeug der nächsten Generation ist so konzipiert, dass es sich eignet, die Eigenschaften neuer Flugzeugentwürfe schon während der Entwicklung an einem „Digitalen Zwilling“, aber auch später unter realen Betriebsbedingungen zu erproben. Auf diese Weise sollen Flugzeugentwickler Zeit und Kosten sparen – ähnlich wie im Automobilbau, wo Fahrzeuge mit Computermodellen virtuell erprobt werden, lange bevor der erste reale Crashtest stattfindet. 



# Tanz auf der Welle

*Während das Fliegen in der Leewelle für Segelflieger die Kür ist, sind die atmosphärischen Schwingungen für Verkehrsflieger mitunter gefährlich.*

**Autor:** Daniel Hautmann





**Effizienz-Meister** — Segelflugzeuge schaffen eine Gleitzahl von 1:70. Heißt: Mit einem Meter Höhe gleiten sie bis zu 70 Meter weit.

Stille. Himmlische Stille. Eben noch war die Luft turbulent, schüttelte das Flugzeug und hob die Passagiere aus den Sitzen. Die Tragflächen bogen sich und die Flügelspitzen zitterten im Wind. Es piff und dröhnte. Über den Wolken dann: Ruhe.

„Jetzt sind wir in der Welle“, sagt Pilot Klaus Ohlmann und liefert die Erklärung für die plötzliche Stille. In die zu kommen war mühsam. Denn eigentlich ist das Wetter an diesem Maitag in den südfranzösischen Alpen viel zu schlecht zum Segelfliegen. Gewitter sind angekündigt, die Wolken hängen tief, der Wind ist schwach. Rekordpilot Ohlmann spornt das eher an: „Das ist mein Training. Bei guten Bedingungen kann jeder fliegen.“

Und so demonstriert er die hohe Kunst des Fliegens: Nach einem zweiminütigen Motorstart segelt er im Hangaufwind des 1.000 Meter hohen Arambre in Südfrankreich, gleich neben dem Flugfeld. Knapp über den Bäumen und scharf an der Felskante steuert er den Flieger entlang. Leichtes steigen. Dann schraubt er sich in der Thermik in engen Kurven weiter hoch. Auf 2.400 Metern findet Ohlmann schließlich den Einstieg in die Leewelle.

Leewellen bilden sich, wenn Wind vom Gelände, etwa Bergen, abgelenkt wird. Dabei entstehen atmosphärische Schwingungen. Je stärker der Wind und je höher das Hindernis, desto höher steigen die Wellen auf – teils bis zu 100 Kilometer weit. Es sind laminare Strömungen, auf denen die Segler:innen surfen.

### Gefahr für Verkehrsflugzeuge

Für Verkehrsflieger können Leewellen gefährlich werden. Ihre Turbulenzen können Maschinen schädigen oder Passagiere verletzen. Die Wellen können brechen – genau wie Meereswellen am Strand. Karten oder Vorhersagen gibt es bislang kaum, doch das soll sich ändern. Die Segler:innen in ihren Experimentalflugzeugen erkunden das Phänomen und sammeln Daten.

Wenn Ohlmann anderen Pilot:innen erklärt, was es mit den unsichtbaren Strömungen auf sich hat, nimmt er sie mit zu einem Bach: „Das Wasser fließt nicht einfach runter, sondern bildet hinter Steinen Strudel und verwirbelt. Mitunter strömt es in die entgegengesetzte Richtung. Dasselbe passiert mit der Luft.“

### Der kommerziellen Luftfahrt 20 Jahre voraus

Segler:innen sind Effizienz-Meister. Sie schaffen eine Gleitzahl von 1:70. Heißt: Mit einem Meter Höhe gleiten sie bis zu 70 Meter weit. Das erreichen moderne Verkehrsflugzeuge nicht ansatzweise. Sie kommen mit einem Höhenmeter nur 20 Meter weit – und verbrauchen dann noch immer viel Sprit. Rund 2,5 Prozent der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen gehen zu Lasten der Fliegerei. Mit Hochdruck arbeitet die Branche an tiefgreifenden Lösungen, die die Luftfahrt nachhaltig verbessern.

Und die schaut sie sich auch bei den Segler:innen ab. „Wir sind einerseits ein sehr technischer Sport. Andererseits setzen wir Naturressourcen sparsam ein und nutzen die Naturkräfte intelligent“, sagt Tilo Holighaus, Chef des Segelflugzeug-Herstellers Schempp Hirth in Kirchheim unter Teck. Genau genommen wei-





**26 Meter Spannweite** — Viel Platz braucht der Segler Nimbus 4DM, mit dem Klaus Ohlmann in die Lüfte steigt. Mit ihm hat er bereits zahlreiche Rekorde geflogen.

sen die Segler:innen den Verkehrsflugzeugen technisch und aerodynamisch den Kurs: „Wir sind der kommerziellen Luftfahrt oft 20 Jahre voraus.“

1957 stand das erste Kunststoffflugzeug am Start: Der Segler fs 24 Phönix. Vor 30 Jahren bereits ließ sich der Segelflug auf die nächste Faserrevolution ein: Carbon. Die extrem stabilen, gleichzeitig aber leichten Flugzeuge bieten sich zudem an, neue Antriebsarten zu testen. Elektro-, Hybrid- und Brennstoffzellenantriebe wurden zunächst in Seglern eingebaut.

„Alle segelfliegenden Berufspilot:innen haben ein deutlich besseres Bild von Wettervorgängen, da sie unmittelbar von den Bewegungen der Atmosphäre abhängen“, sagt Ohlmann. Flugkapitän:innen sind dadurch im Notfall routinierter. Das kann Leben retten, wie die spektakuläre Notlandung eines Airbus im Winter 2009 zeigte. Nach einem Triebwerksschaden landete der erfahrene Segler Chesley Sullenberger seinen Airbus A320 sicher auf dem New Yorker Hudson River – im Segelflug.

### **26 Meter Spannweite, 830 Kilo**

Das Flugzeug, das Ohlmann in die Leewelle über Südfrankreich steuert, ist ein Nimbus 4DM, ein

830 Kilo leichter Hochleistungssegler mit 26 Meter Spannweite, Gleitzahl 1:60. „Eines der besten Segelflugzeuge der Welt. Mit diesem Typ habe ich zig Rekorde geflogen“, sagt er, während er die Kontur der Wolkenkante entlangsegelt – mit Tempo 135 und zwei Meter Steigung.

Segelflugzeuge eignen sich insbesondere für Experimental- und wissenschaftliche Messflüge: Ihr Betrieb ist günstig und sie halten enormen Kräften stand. Das zeigte der 2018 aufgestellte Höhenrekord der „Airbus Perlan Mission 2“, der bei 23.200 Meter lag. In der dünnen Luft müssen die Maschinen extrem schnell fliegen, um genügend Auftrieb zu erzeugen. Während sie in Bodennähe mit rund 200 Stundenkilometern unterwegs sind, sind es oben bis zu 450. Das birgt Gefahren: Strömungsabriss, Flattern. Hinzu kommen Eiseskälte und Sauerstoffmangel. Deshalb flogen die beiden Perlan-Piloten in einer Druckkabine. Auch bei diesem Höhenflug ging es um die Erforschung von Leewellen. Und darum, Daten für die Klimaforschung zu sammeln.

### **Höher, weiter, schneller**

Auch Ohlmann geht es nicht nur um Rekorde. Er ist ein Detektiv, ein Forscher auf der Suche nach den „Missing Links“. So nennt er Streckenabschnitte, die verschiedene Wellen miteinander

**Der Nimbus 4DM ist eines der besten Segelflugzeuge der Welt.**

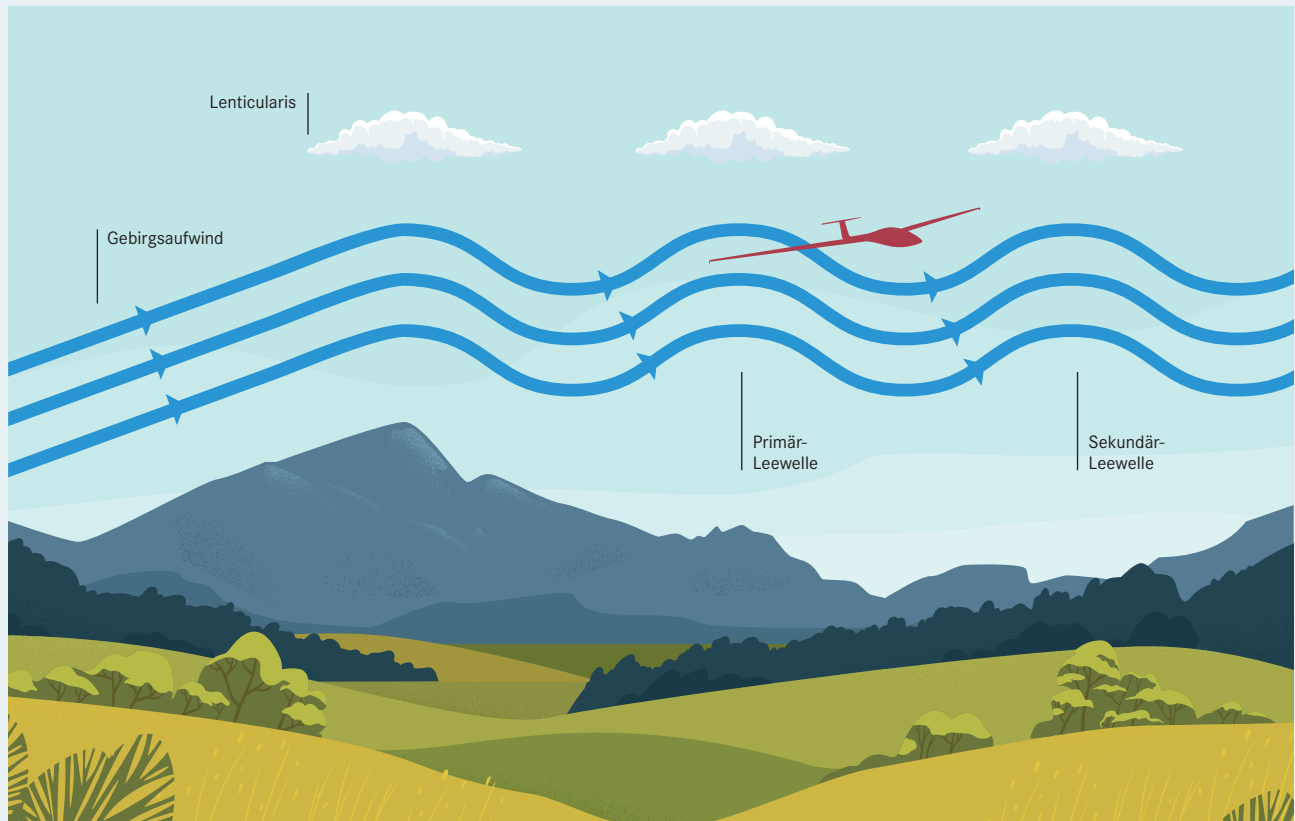


**26 Meter**  
Spannweite

**1:60**  
Gleitzahl

**830 Kilo**  
Gewicht

## Wetterphänomen Leewelle



**Tanz auf der Welle** — Bläst ein starker Wind über einen ausgedehnten Gebirgszug, dann können auf der zur Windrichtung abgewandten Seite (Leeseite) Luftwellen entstehen, ähnlich den Wasserwellen in einem Bach hinter einem Hindernis im Bachbett: Dort fließt das Wasser nicht einfach runter, sondern bildet hinter Steinen Strudel und verwirbelt. Das Gleiche passiert in der Luft. Je stärker der Wind und je höher das Hindernis, desto höher steigen die Wellen auf – teils bis zu 100 Kilometer weit. In den aufsteigenden Bereichen der Leewelle können Segelflieger so in riesige Höhen steigen. Scharf abgegrenzte, linsenförmige Wolken (Lenticularis) markieren die Wellen, „berge“.



**Wellen“berge“** — Oft können Leewellen anhand besonderer Wolkenformationen, die bereits optisch eine wellenförmige Luftbewegung andeuten, erkannt werden.




**Linsenform** — Die sogenannten Lenticularis (lateinisch: linsenförmig) sind Wolken, die häufig sehr langgestreckt sind und gewöhnlich klar definierte Begrenzungen haben.

verknüpfen. Darin ist er geschickter als jeder andere Segler. Wo das hinführen kann, zeigte er im Mai 2021. Da segelte er aus 6.000 Metern Höhe von Südfrankreich aus zunächst über das Meer bis nach Korsika. Dann weiter in die italienischen Apenninen, runter in den Süden des Stiefels. Von dort glitt er aus 7.500 Metern Höhe die 300 Kilometer hinüber nach Griechenland – wo ihn die nächste Welle empfing. Die trug ihn bis nach Thessaloniki. Nach 15 Stunden und rund 1.750 Kilometern landet er. „Für so einen Flug muss das Wetter passen wie ein Maßanzug“, sagt er. Jahre bereite er sich darauf vor, beobachtete das Wetter, studierte die Wellen. Und damit nicht genug. Sein Traum ist ein 2.000-Kilometer-Flug in Europa: Bei nächster Gelegenheit will er seinen Rekordflug von Thessaloniki bis nach Kreta verlängern.

### Auf den Spuren Lindberghs

Seit mehreren Jahren hat er sich auch dem elektrischen Motorflug verschrieben. Um die oben genannten Missing Links besser handeln zu können – und um seinen Beitrag für eine nachhaltige Luftfahrt zu leisten. Gerade bekommt sein Segler Stemme S10 VT einen Elektroantrieb und einen Range-Extender, einen kleinen Verbrennungsmotor, der mit Sustainable Aviation Fuel betrieben wird und die Akkus im Flug lädt. Damit steigt die Reichweite bei gleichem Tankvolumen um mehr als das Doppelte des Originals. Immerhin bis zu 3.000 Kilometer. Damit will Ohlmann den Globus umrunden und hier und dort Höhenrekorde aufstellen. Etwa im Himalaja: „Alle acht Achttausender von Nepal an einem Tag.“ Später soll den Verbrenner dann eine Brennstoffzelle ersetzen – damit will er erneut um die Welt fliegen.

Und dann steht noch ein ganz besonderer Flug an: Auf den Spuren Charles Lindberghs. Der flog 1927 nonstop 5.808,5 Kilometer von New York nach Paris. Lindbergh hatte auf seinem 33,5 Stunden langen Flug mit der „Spirit of St. Louis“ 1.705 Liter Sprit im Tank. Klaus Ohlmann ist sich sicher, dass er das viel effizienter hinkommt: mit nur 250 Litern. 



**Klaus Ohlmann** 70, fliegt seit 50 Jahren. Gelernt hat der gebürtige Mittelfranke das in Braunschweig. Dort machte er eine Ausbildung zum Zahntechniker. Später studierte er in Göttingen. Mit 50 verkauft er seine Zahnarztpraxis, wird Profiflieger und zieht ins Fliegerparadies Südfrankreich.

Heute hält er 66 Weltrekorde, sieben WM-Titel und kann über 30.000 Flugstunden vorweisen. Er flog über den Anden, 12.500 Meter hoch und 3.000 Kilometer weit. Als erster Mensch segelte er über den Mount Everest und flog mit mehr als 1.000 Kilometern die längste Strecke in einem E-Flieger.

„Segelfliegen ist permanentes Risikomanagement“, sagt Ohlmann. „Du musst das Wetter beobachten, ständig neu einschätzen, dich selbst überprüfen und immer wieder anpassen – das macht es so spannend.“ Er beschreibt das als „Akku-mulation von Erfahrung.“ Und sich selbst als „angewandten Meteorologen“. Sein Wissen gibt er auch weiter. Man kann mit ihm fliegen, seine Vorträge besuchen, oder ihn als Key Note Speaker erleben.

Wann immer ein Forschungsinstitut wie das DLR oder ein Flugzeugbauer einen erfahrenen Piloten braucht, rufen sie ihn. Erst im April 2022 erflog er zwei neue Weltrekorde mit dem hybrid-elektrischen Forschungsflugzeug e-Genius der Universität Stuttgart.

#### AUTOR:



**Daniel Hautmann** ist freier Journalist und war als Jugendlicher selbst Segelflieger. Inzwischen ist er als passionierter Surfer aber lieber auf dem Wasser als in der Luft. Dem Wind hat er ein ganzes Buch „Windkraft neu gedacht“ gewidmet.

# Nonstop zu entfernten Ufern

*Der A321XLR ist eine neue Klasse für Langstrecken – erstmals kann ein Schmalrumpf-Jet bis zu elf Stunden in der Luft bleiben.*

**Autor:** *Andreas Spaeth*

**15. Juni 2022:** \_\_\_\_\_

*Mit dem Erstflug des Airbus A321XLR eröffnen sich neue Marktpotentiale: Zukünftig können mit dem Narrowbody-Jet Distanzen von bis zu 8.700 km bewältigt werden.*







**A321XLR Erstflug** — Nach der Landung begrüßen gut hundert Gäste und Angestellte mit lautem Jubel die Besatzung.

*„Wir werden damit eine zunehmende Fragmentierung der Langstrecken sehen, was in Summe zu einem erweiterten Marktpotenzial und -wachstum führt. Dieses Marktsegment wird neue Routen ermöglichen und damit auch weitere Mitbewerber anlocken, etwa aus Indien mit Flügen in Richtung Osteuropa.“*

**Marko Niffka**, Experte für Business Development – MRO bei der MTU

Alle Augen der am Rande des Vorfelds aufgereihten Mitarbeiter:innen und Gäste richten sich ans Ende der Startbahn in Richtung Elbe, noch wenige Minuten zuvor war genau hier mit der „Queen Mary 2“ eines der größten Kreuzfahrtschiffe der Welt vorbeigeglitten. Und gleich steht in Hamburg-Finkenwerder ein wichtiger Moment in der jüngeren Airbus-Geschichte an: Der Erstflug des neuen Bestsellers A321XLR, des ersten Schmalrumpf-Flugzeugs für Langstrecken mit bis zu elf Stunden Flugzeit. Äußerlich unterscheidet sich der A321XLR nicht von einem gewöhnlichen Airbus A321 und dessen Nachfolgemodell A321neo.

Plötzlich geht alles ganz schnell an diesem sonnigen Junimorgen - eigentlich soll zuerst das Begleitflugzeug starten. Doch unerwartet für die Zuschauer setzt sich der A321XLR-Prototyp, Baunummer 11000, Kennzeichen F-WXLR, zuerst in Bewegung, beschleunigt und hebt dann am 15. Juni 2022 um 11.05 Uhr fast direkt vor den aufgereihten Beobachtern ab. 18 Monate lang hatten 1.500 Mitarbeiter:innen des Flugzeugherstellers und seiner Zulieferer darauf hingearbeitet. „Wir haben diesem Augenblick entgegengefeibert, das ist ein besonderer Moment und das spüre ich auch“, sagt Michael Menking, der Programmleiter der A320-Flugzeugfamilie, kurz vor dem Abheben neben der Bahn in Hamburg.

### **Geringere Betriebskosten, weniger wirtschaftliches Risiko**

Fast drei Jahrzehnte nach dem Erstflug an gleicher Stelle erlebt das A321-Programm in seiner neuen Langstreckenvariante (XLR steht für Extra Long Range) nun einen Boom, auch weil es voraussichtlich ab Anfang 2024, nach Abschluss des jetzt beginnenden Testprogramms, ein völlig neues Marktsegment besetzen kann: Echte Langstrecken von bis zu 8.700 km Distanz mit voller Zuladung

können dann bewältigt werden. Und das als Schmalrumpfflugzeug mit nur einem Mittelgang, nicht wie bisher zwei Gängen bei auf solchen Segmenten sonst eingesetzten Großraumjets. Das birgt für die Airlines nicht nur geringere Betriebskosten, sondern vor allem viel weniger wirtschaftliches Risiko: Weil in den für Langstrecken geplanten Kabinen-Konfigurationen (meist mit luxuriöser Business Class inklusive Flachbett-Abteilen) nur 174 bzw. 187 Sitzplätze zu füllen sind, nicht weit über 200 oder sogar mehr als 300 oder 400 wie in derzeitigen Großraumjets.

### Langstrecken-Komfort für die Schmalrumpf-Jets

Nur wenige Kilometer vom Erstflug-Ort entfernt läuft zur gleichen Zeit die Kabinenmesse Aircraft Interiors Expo auf dem Hamburger Messegelände. Auch dort sind Narrowbodies für Langstrecken ein großes Thema, viele Sitzhersteller liefern sich ein Wettrennen, um ihre eigentlich für Großraumflugzeuge konzipierten Luxus-Abteile auch für kleinere Jets zu adaptieren, inklusive Schiebetür. Wie heute schon die amerikanische Fluggesellschaft JetBlue auf Transatlantikstrecken mit einem A321LR (LR steht für Long Range) werden künftig viele Airlines die erste Reihe in den Schmalrumpf-Jets mit zwei geräumigen Suiten bestücken. Den Passagieren erspart die neue Flugzeugklasse auf Langstrecken lästiges Umsteigen und ermöglicht Nonstop-Verbindungen, die sich für Fluggesellschaften bisher nicht gerechnet hätten. Ab Hamburg nennt Airbus folgende Beispiele möglicher Routen

ohne Zwischenstopp: Orlando (USA), Punta Cana (Dominikanische Republik), Nassau (Bahamas), Mahé (Seychellen), Male (Malediven) oder Vancouver (Kanada) könnten Zielorte sein, die sich aus Westeuropa ohne Umsteigen erreichen ließen. Bereits heute fliegen Fluggesellschaften wie Aer Lingus, SAS und TAP Air Portugal mit dem Vorgängermodell, dem ersten für Langstrecken tauglichen A321LR (7.400 km Reichweite) über den Nordatlantik und bis nach Brasilien. Am Tag des XLR-Erstflugs sind genau 508 Flugzeuge des neuen Typs bestellt, wichtigste Kunden sind Indigo, United und American Airlines, aus Europa Wizzair und Iberia.

### Zunehmende Fragmentierung der Langstrecke absehbar

„Wir werden damit eine zunehmende Fragmentierung der Langstrecken sehen, was in Summe zu einem erweiterten Marktpotenzial und -wachstum führt“, sagt Marko Niffka, Experte für Business Development – MRO bei der MTU Aero Engines. „Dieses Marktsegment wird neue Routen ermöglichen und damit auch weitere Mitbewerber anlocken, etwa aus Indien mit Flügen in Richtung Osteuropa.“ Eine Triebwerksoption beim A321XLR ist das PW1100G-JM aus der Pratt & Whitney GTF™ Triebwerksfamilie. Im September 2022 hob der A321XLR das erste Mal mit dem Getriebefan ab. „Das ist für uns als MTU ein sehr attraktives Weltmarktsegment und wird weiter zum Erfolg des Getriebefans (GTF) beitragen - schon dadurch dass neue Airlines in den Markt kommen und bestehende Akteure mehr und mehr auf dieses

**23. September 2022** — Der Airbus A321XLR fliegt das erste Mal mit dem PW1100G-JM aus der Pratt & Whitney GTF™ Triebwerksfamilie.





**Flug Crew** — Philippe Pupin, Gabriel Díaz de Villegas Giron, Mehdi Zeddoun, Thierry Diez, Frank Hohmeister (Von links nach rechts).



## Starker Antrieb für den Airbus A321XLR: PW1100G-JM

Mit einem maximalen Schub von 35.000 Pfund wird das PW1100G-JM bereits in der A320neo-Familie eingesetzt und zukünftig auch den neuen Langstreckenjet antreiben. Es ist Teil der höchst erfolgreichen Getriebe-fan-Triebwerksfamilie von Pratt & Whitney.

Die MTU Aero Engines verantwortet mit einem Programmanteil von 18 Prozent die schnelllaufende Niederdruckturbine und die ersten vier Stufen des Hochdruckverdichters sowie die Endmontage eines Drittels der Serien-PW1100G-JM für die A320neo an ihrem Standort in München. Die Instandhaltung des Antriebes wird bei der MTU Maintenance Hannover, der MTU Maintenance Zhuhai, bei EME Aero und bei der MTU in München durchgeführt.

Die GTF-Triebwerke überzeugen vor allem durch Effizienz und Sparsamkeit: Gegenüber der Vorgängergeneration reduzieren sie CO<sub>2</sub>-Emissionen um bis zu 20 Prozent und verringern den Lärmteppich um 75 Prozent.




Segment ausweichen“, so Marko Niffka. „Seine Treibstoffeffizienz macht den GTF hier so wertvoll, denn früher musste man mehr Sprit mitnehmen, was in einem Narrowbody für Langstrecken aufgrund des begrenzten Platzes nicht ausreichend möglich gewesen wäre.“

Damit nennt der MTU-Experte den entscheidenden Unterschied gegenüber dem Standardmodell - zusätzliche Tankkapazitäten. Ein üblicher A321 fasst 19 Tonnen Kerosin, das XLR-Modell hat zusätzlich im hinteren Unterflurbereich einen fest eingebauten Extratank, der 12.900 Liter oder ca. 10,6 Tonnen Sprit fasst. Wenn XLR-Kunden wirklich die volle Reichweite ausreizen wollen haben sie die Möglichkeit, einen weiteren Extratank vor den Tragflächen wie einen Gepäckcontainer im Frachtraum zu installieren, der nochmal 3.120 Liter oder 3,2 Tonnen fasst. Etwa die Hälfte aller Kunden hat sich dafür entschieden. Durch fast 14 Tonnen Extra-Treibstoff kann das Flugzeug viel weiter fliegen, wird aber auch um bis zu acht Tonnen schwerer. Daher benötigt der

A321XLR auch ein neues Fahrwerk und verfügt für verbesserte Manövrierfähigkeit in der Luft über eine neue Flügelklappe an den hinteren Tragflächenkanten.

### Alleskönner für die Passagierluftfahrt

Nach drei Stunden und 45 Minuten mit langen Flugbahnen über Norddeutschland und der Nordsee auf Höhen zwischen 1.500 und 9.000 Metern dreht der Prototyp, eines von künftig drei Testflugzeugen, die in rund tausend Teststunden die Zulassung erreichen sollen, noch eine spektakuläre Steilkurve über dem Werksflugplatz. Danach setzt er auf und rollt unter dem Wassersalut der Flughafenfeuerwehr vor das Auslieferungszentrum, wo gut hundert Gäste und Angestellte mit lautem Jubel die Besatzung begrüßen. Kapitän des Erstflugs war der Franzose Thierry Diez mit über 8.000 Stunden Flugerfahrung. „Dieses Flugzeug ist so universell wie ein Schweizer Messer, damit können wir mit der gleichen Piloten-Musterberechtigung Kurz-, Mittel- und Langstrecke fliegen“, freut sich Diez. 

#### AUTOR:



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

#### WEITERE INFORMATIONEN ZUM THEMA:

Der weite Weg nach Teneriffa – Erfahrungen mit der A220 auf ihrer längsten Linienstrecke [www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)







# Start in die neue Überschall-Ära

*1947 durchbrach ein Mensch erstmals die Schallmauer.  
2003 endete der Concorde-Betrieb – doch schon 2029  
könnte es wieder Überschall-Passagierflüge geben.*

**Autor:** *Andreas Spaeth*



„Königin der Lüfte“ — British Airways Concorde im Anflug auf Barbados.



**Französisch-britische Kooperation** — 1969 feierte die Concorde ihren Erstflug. Hier ist sie beim Triebwerkstest in Toulouse.



**Yeager's Pionierflug** — Mit dem Raketenflugzeug Bell X-1 absolvierte Chuck Yeager am 14. Oktober 1947 den ersten horizontalen Überschallflug der Geschichte mit Mach 1,06.

Der erste nachgewiesene Überschallflug der Geschichte, so ist es offiziell festgehalten, erfolgte vor 75 Jahren am 14. Oktober 1947 durch den damals 24-jährigen amerikanischen Luftwaffenpiloten Charles Elwood „Chuck“ Yeager. Vermutlich aber hatten die Deutschen während der letzten Phase des Zweiten Weltkriegs bereits im April 1945 einige Male mit einer Messerschmitt Me-262, dem ab 1943 ersten serienmäßig gebauten Strahlflugzeug der Welt, die imaginäre Schallmauer durchbrochen. Yeager saß in einer Bell X-1, einem einsitzigen Raketen-

flugzeug, das speziell dafür entwickelt worden war, die Schallmauer erstmals im Horizontalflug zu durchbrechen, nicht im Sturzflug wie bereits zuvor.

Das nicht einmal zehn Meter lange Flugzeug war auffällig orange bemalt worden, um in der Luft, oder schlimmstenfalls nach einem Unfall am Boden besser sichtbar zu sein. Es war simpel ausgelegt und hatte nicht einmal einen Schleudersitz, heute bei militärischen Tests undenkbar. Die X-1 wurde

vom Mutterflugzeug, einer Boeing B-29, vom Muroc-Testgelände (ab 1950 Edwards Air Force Base) in der kalifornischen Mojave-Wüste östlich von Los Angeles auf etwa 6.000 Meter gebracht, der Testpilot kletterte durch den leeren Bombenschacht in sein Vehikel, die X-1 wurde daraufhin ausgeklinkt und in ausreichendem Abstand vom Mutterflugzeug zündete Yeager den Vierkammer-Raketomotor, eine Weiterentwicklung deutscher Raketentechnik.

Schnell stieg die X-1 auf 12.800 Meter. Die Rumpfform des Flugzeugs war einer Standardpatrone nachempfunden, weil man von diesem Geschoss wusste, dass es bei Überschallgeschwindigkeit eine stabile „Fluglage“ hatte, während diese Form bei gewöhnlichen Flugzeugen aerodynamisch eher ungünstig war. Auf Reiseflughöhe beschleunigte Yeager das Flugzeug auf Mach 1,06, entsprechend 1.079 km/h. Am Boden hörte man einen dumpfen Doppelknall wie fortan immer, wenn über Edwards die Schallmauer durchbrochen wurde – den bis heute unvermeidlichen Überschallknall. Bereits 14 Minuten nach dem Ausklinken und dem erfolgreichen Vollbringen seiner Pionierleistung landete Yeager die X-1 wieder in Muroc.

### Die Tupolew Tu-144 ist ein Triumph für die Sowjetunion

War Überschallflug in den ersten Jahrzehnten eine rein militärische Domäne, so entwickelte sich Ende der 1960er Jahre ein Wettrennen zwischen Ost und West darum, wer das erste Überschall-Passagierflugzeug in die Luft bekommen würde. Es war die Sowjetunion, der das am letzten Tag des Jahres 1968 mit der

Tupolew Tu-144 gelang. Eine Weltsensation – das elegante Flugzeug mit den weißen Deltaflügeln konnte bis zu 140 Passagiere mit bis zu Mach 1,88 befördern.

Die französisch-britische Concorde als Wettbewerber aus dem Westen feierte erst am 2. März 1969 ihren Erstflug, sie schaffte sogar Mach 2,02, doppelte Schallgeschwindigkeit. Damals ging die Branche davon aus, dass innerhalb weniger Jahre zumindest längere Passagierflüge nur noch mit Überschalljets angeboten würden, die gleichzeitig entwickelte Boeing 747 war vorwiegend für die Frachtbeförderung gedacht.

Aber es kam anders: Mit der Ölkrise 1973 wurde Kerosin extrem teuer und Bedenken wegen Lärm und Überschallknall größer. Die Tupolew Tu-144 führte nur pro forma bis Ende 1978 „reguläre“ Flüge durch. Die Concorde blieb zwar wirtschaftlich ein Flop, aber erwies sich im Liniendienst zwischen 1976 und 2003 als durchaus beliebtes Transportmittel für eilige Passagiere. Vor allem auf der Strecke von Paris bzw. London nach New York, die in jeweils gut drei Stunden bewältigt werden konnte. Doch bei Ticketpreisen von rund 7000 Euro nach heutigem Wert für Hin- und Rückflug blieb dies ein exklusives Vergnügen.


### Eine neue Überschall-Ära, 60 Jahre nach dem Concorde-Erstflug?

Rund 20 Jahre nach dem Ende der Concorde wagt Boom Supersonic den Schritt in eine neue Überschall-Ära. Das Unternehmen entwickelt derzeit in den USA einen neuen Überschalljet namens Overture. Der soll bereits 2029 zwischen 65 und 80 Passagiere

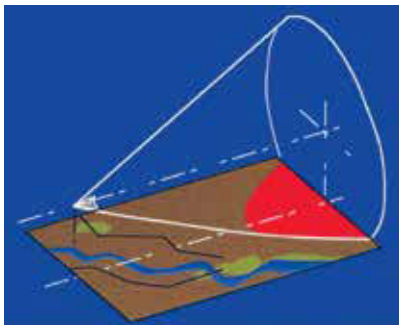
**Overture** — Das neue Überschallflugzeug von Boom Supersonic gibt es aktuell nur als Konzept - 2029 soll es zum ersten Mal abheben.



befördern und 60 Jahre nach dem Erstflug der Concorde über Wasser Mach 1,7 erreichen. Über Land, wo Überschallflüge bis heute wegen des Knalls verboten sind, wird sie mit Mach 0,94 allerdings knapp unterhalb der Schallgrenze bleiben. Derzeit forscht die NASA mit ihrem Projekt QueSST an Formen für Überschallflugzeuge, die den Knall soweit mindern sollen, dass künftig schnelle Flüge auch über Land möglich werden könnten. Mit Japan Airlines, United Airlines und American Airlines haben bereits drei große Fluggesellschaften insgesamt 55 Overture bestellt und Optionen für weitere gesichert.

Überschallfliegen in den 2030er Jahren soll die Umwelt weit weniger belasten als es die Concorde tat. So streben die Overture-Erbauer eine Lärmreduktion sowohl beim Start als auch beim Überschallknall an, die jeweils um den Faktor 30 unter den Werten der Concorde liegt. Gleichzeitig, so der Plan, sollen die Triebwerke ausschließlich mit Sustainable Aviation Fuel (SAF) betrieben werden. Das Ganze ist so kalkuliert, dass ein Ticket nicht mehr kosten soll als eine heutige Reise in Business Class auf gleicher Strecke. Nach 75 Jahren soll damit eine neue Ära des Reisens im Überschalltempo beginnen. 

## Die Kennzahl der Schallgeschwindigkeit



**Lauter Knall** — Der Überschallknall (hier rot) folgt dem Flugzeug wie eine Schleppe am Boden. Ein Jet der oberhalb von Mach 1 fliegt, zieht diese Schleppe so lange mit sich, wie der Überschallflug andauert.

Eine Flug-Geschwindigkeit, die höher als die Ausbreitung von Schallwellen ist, entzieht sich der üblichen Messung. Zumal es keinen festen Wert in km/h gibt, ab dem man von Überschalltempo sprechen könnte. In der Flugphysik hat man sich deshalb schon frühzeitig dimensionslos gemacht und (Über-) Schallgeschwindigkeit nach ih-

rem österreichischen Entdecker, dem Physiker Professor Ernst Mach (1838 - 1916) benannt. Danach ist die Einheit für einfache Schallgeschwindigkeit Mach 1, alles darüber hinaus bewegt sich mit Überschalltempo. Flugzeuge werden auf Mach-Werte ausgelegt, nicht auf bestimmte km/h-Zahlen. Verkehrsflugzeuge erreichen heutzutage im Reiseflug üblicherweise etwa Mach 0,82 bis 0,87. Mach 0,85 für den Airbus A380 entspricht auf einer Reiseflughöhe von 11.000 Metern genau 903 km/h, auf Meereshöhe läge diese 0,85-fache Schallgeschwindigkeit in km/h jedoch viel höher. Nur ist in diesen tieferen Luftschichten die Atmosphäre viel dichter und damit der Luftwiderstand um einiges größer, dass dort kein Passagierflugzeug derart schnell fliegen würde.

Denn wie nahe Flugzeuge der Schallgrenze kommen, wird von äußeren Faktoren am jeweiligen Ort bestimmt. Und zwar vom Verhältnis der spezifischen Wärme, der spezi-

fischen Gaskonstante und der thermodynamischen Temperatur der Luft. Bei trockener Luft und einer Temperatur von 15°C liegt die Schallgeschwindigkeit bei 1.225 km/h. Oberhalb von 11.000 Metern Flughöhe und wegen der dort herrschenden Kälte beträgt sie bei minus 56°C dagegen nur 1.062 km/h.



**Schallmauer-Wand** — Wenn wie hier Feuchtigkeit innerhalb von Schockwellen gefangen ist, wird die Schallmauer sichtbar. Man spricht dabei vom „Wolkenscheiben-Effekt“.

### 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.

## INTERVIEW

## Forschung an leiserem Überschallknall

**Don Durston, Luftfahrtingenieur beim Ames-Forschungszentrum der NASA in Kalifornien, arbeitet im Windkanal an der Erforschung neuer Formen leiserer Überschallflugzeuge wie der X-59, die im Quiet SuperSonic (QueSST)-Programm eingesetzt wird. Die Testkampagne startet 2023, das Ziel ist es, den Überschallknall so zu verringern, dass ein Flug über Land möglich wird. Die X-59 ist speziell darauf ausgelegt, statt eines Knalls nur noch einen leiseren, dumpfen Schlag auszulösen. Ein wesentlicher Faktor, um das zu erreichen, ist, die extrem lange Flugzeugnase, die die vordere Schockwelle dämpft.**

**AEROREPORT: Überschallflugzeuge leiser zu machen – ist das mit dem QueSST-Programm ein neues Ziel für die NASA?**

**Don Durston:** Überhaupt nicht, daran arbeiten wir bereits seit den 1950er Jahren, seit wir durch Chuck Yeagers Flug gelernt haben, dass der Knall laut ist. Schon 1964 hat die US-Regierung in Oklahoma City ein Experiment durchgeführt, wo sie die Stadt ständig mit dem Überschallknall bombardiert haben, achtmal am Tag für sechs Monate, das hat die Leute verrückt gemacht. Die NASA, die FAA und die Air Force arbeiten daran schon sehr lange Zeit.

**Wie hat sich das Design der X-59 im Laufe der Zeit entwickelt?**

**Durston:** Schon 2009 hat unser Projekt an Boeing und Lockheed Martin Aufträge vergeben, leisere Überschallflugzeuge zu entwickeln. Sie haben aber nicht das geringe Lärmniveau von 75 dB erreicht, das wir mit der X-59 erreichen wollten. Sie lagen etwas darüber, aber auch das war schon ein Fortschritt. Sie haben weiter an ihren Konzepten gearbeitet und beide 2016 der NASA ihre Entwürfe für ein Low-Boom-Testflugzeug präsentiert. Wir haben uns dann für Lockheed Martin entschieden. Danach wurden die Designs in mehreren Stufen überarbeitet, bis Lockheed Martin im November 2018 mit dem Bau des Flugzeugs begann. Seitdem haben wir noch mehr dazugelernt, aber das wird erst in späteren Designs berücksichtigt werden können.

**Wie zuversichtlich sind Sie, dass die X-59 in der Realität die niedrigen Lärmwerte erreichen kann, so wie in Ihren Computersimulationen?**

**Durston:** Für einige Testbereiche bin ich zuversichtlich. Wir werden sie über unterschiedlichen Orten in heißen und kalten, trockenen



**Inspektion eines Modellfliegers** — Das von Don Durston mitentwickelte Modell des leisen Überschallflugzeugs X-59 der NASA wurde bei den jüngsten Windkanaltests des Projekts verwendet.

und feuchten Wetterbedingungen fliegen. Ich vermute, dass unter einigen dieser Bedingungen der Knall vielleicht ein wenig lauter, unter anderen etwas leiser sein wird. Wir haben vier verschiedene Auftriebsvorrichtungen in dem Flugzeug, drei davon können wir anpassen, was wiederum auch einen lautereren oder leiseren Knall verursachen kann. Unsere Teams berechnen das bereits.

**Aber das wichtigste Ergebnis, eins das sie nicht simulieren können, wird die Reaktion des Publikums sein, das dem Lärm der Überflüge ausgesetzt ist ...**

**Durston:** Wir wollen das Feedback von den Leuten hören. Es gibt eine lange Liste möglicher Orte für diese Tests, wir brauchen eine Bandbreite an Klimazonen und sowohl mehr als auch weniger städtische Gegenden. Am Ende wird das an vier bis sechs Orten in den USA stattfinden. Jede Flugtestkampagne wird einige Monate dauern. Da ist viel Logistik nötig, wir brauchen all die Ausrüstung, das Wartungspersonal und ein Verfolgungsflugzeug, vermutlich eine F-15 oder F-18. Die X-59 wird wahrscheinlich von Militärbasen aus starten, aber wir müssen sicherstellen, dass es in der Nähe auch andere Flughäfen mit langen Pisten gibt, wo sie notfalls landen kann. Und wir müssen uns die Daten einer Testkampagne anschauen und dann entscheiden, ob wir es beim nächsten Mal vielleicht etwas anders machen. Das kostet alles Zeit, vermutlich einige Wochen in jedem Ort.

**Erwarten Sie, dass bald eine neue Überschall-Ära mit leiseren Flugzeugen beginnen könnte?**

**Durston:** Wir werden vermutlich in eine Phase eintreten, wo wir einen Knall haben, der leise genug ist, sodass wir mit dem Bau eines Überschall-Passagierflugzeug beginnen können, das auch über Land fliegt. Doch dann stellt sich die Frage: Auch wenn der Lärm eines Flugzeugs vielleicht leise genug wäre, wird es die Leute stören, wenn es davon hunderte am Tag gibt? Das könnte eine Herausforderung sein.



**Materialprofis der MTU im Gespräch** —

*Dr. Jörg Eßlinger, Senior Consultant Materials, und  
Dr. Inga Stoll, Leiterin Werkstofftechnik bei der MTU.*



# Auf neue Werkstoffe kommt es an

*Nachhaltige Antriebe erfordern fortschrittliche Materialien: Darüber sprechen Dr. Jörg Eßlinger, Senior Consultant Materials, und Dr. Inga Stoll, Leiterin Werkstofftechnik bei der MTU.*

**Autorin:** Nicole Geffert

**AEROREPORT:** *Der Bedarf an innovativen Werkstoffen und Beschichtungen für Triebwerksbauteile ist enorm. Aktuelle Antriebe mit MTU-Technologie, wie der hocheffiziente Getriebefan (GTF), werden weiterentwickelt und mit nachhaltigen Kraftstoffen betrieben, neue Hochleistungstriebwerke für militärische Anwendungen sind zudem zu entwickeln. Parallel dazu treibt die MTU Aero Engines die Entwicklung revolutionärer Antriebskonzepte voran, mit denen die Klimawirkung weiter drastisch reduziert werden kann. Das erfordert auch fortschrittliche Materialien mit neuen Funktionalitäten. Vor welchen Herausforderungen stehen die Werkstoffexperten in der MTU?*

**Jörg Eßlinger:** In den vergangenen mehr als 50 Jahren haben vor allem metallische Werkstoffe, wie Nickel und Titan, dazu beigetragen, dass die Triebwerke leichter und sparsamer wurden. Diese Werkstoffe werden stetig weiter optimiert für noch effizientere künftige Antriebe. Im GTF der zweiten Generation soll der ther-

mische Wirkungsgrad des Kerntriebwerks weiter verbessert und gleichzeitig die Profitabilität in Produktion und Betrieb gesteigert werden. Die Materialien müssen extrem hitzeresistent sein, dazu leicht, langlebig und robust. Dabei ist vor allem auch darauf zu achten, dass sie sich prozessstabil, wirtschaftlich herstellen und reparieren lassen.

**Inga Stoll:** Wir haben für den GTF der zweiten Generation bereits jetzt die besten Werkstoffklassen im Fokus, etwa Einkristalle, spezifische Schutzschichten, hochtemperaturbeständige Scheibenmaterialien sowie Werkstoffe in additiv hergestellten Bauteilen. Auch verbessern wir unsere analytische Beschreibung der Materialien. All dies erlaubt, Leichtbaupotenziale, Temperatureinsatzgrenzen und Lebensdauern voll auszunutzen.

**Jörg Eßlinger:** Auch für militärische Antriebe gilt: Die Anforderungen an das Material sind nur mit speziellen Hochleistungswerkstoffen zu schaffen. NEFE, die Next European Fighter Engine,



verlangt noch höhere Maßstäbe. Um Performance und Leistungsdichte sicherzustellen, sind Leichtbau und Werkstoffe für höchste Temperaturen sowie spezielle Beschichtungen für die Bauteile gefragt.

**Inga Stoll:** So werden hier beispielsweise faserverstärkte Werkstoffe und Pulvermetalle benötigt. Dazu sind von unserer Seite und von unseren Partnern umfangreiche Investitionen erforderlich, um diese Materialien für unsere Anwendungen hinsichtlich Eigenschaften und Herstellung zu optimieren, weiterzuentwickeln und zu qualifizieren. Wichtig ist zudem, die langwierigen Entwicklungen rechtzeitig zu starten.

**AEROREPORT: Einsatztemperatur, Gewicht und wirtschaftlich-stabile Herstellung – welche Anforderungen müssen noch berücksichtigt werden?**

**Inga Stoll:** Zusätzlich müssen Werkstoffe gut zu reparieren sein, um für die MTU-Kunden die Maintenance-Kosten zu reduzieren. Bereits im Werkstoffdesign haben wir immer auch die Reparaturfähigkeit des Materials im Blick. Unser Anspruch ist, dass unsere Kunden mit ihren Triebwerken lange fliegen können. Das richtige Material mit dem optimalen Oberflächenschutz kann die Lebens-

dauer eines Bauteils um den Faktor zwei bis drei erhöhen. Beschichtungen machen den Werkstoff überhaupt erst einsetzbar in einer solch anspruchsvollen Umgebung wie dem Triebwerk.

**Jörg Eblinger:** Die Relevanz von Beschichtungen wird noch weiter zunehmen. Bereits heute sind mehr als 60 Prozent der Bauteile im Triebwerk beschichtet als Schutz gegen hohe Temperaturen, Abrieb, chemische Angriffe und Erosion. Wenn die Leistungsdichte im Triebwerk künftig noch weiter zunimmt und sich parallel die Lebensdauerforderungen erhöhen, können die Materialien das nur mit besseren, leistungsfähigeren Beschichtungen meistern.

**AEROREPORT: Die MTU arbeitet bereits an revolutionären Antriebskonzepten für die Zukunft. Welche Herausforderungen ergeben sich dabei für die Werkstoffe?**

**Inga Stoll:** Die Anforderungen der Zukunft könnten höher nicht sein. Nehmen wir als Beispiel den Water-Enhanced Turbofan. Hier wird unter anderem Wärmeenergie und Wasser aus dem Abgasstrom rückgewonnen, das Wasser mittels eines Dampferzeugers verdampft und in die Brennkammer eingespritzt. Die Materialien sind also einer feuchten Umgebung ausgesetzt. Die beschleunigte Korrosion durch den deutlich erhöhten Wasser-

*„Um die Entwicklung zu beschleunigen und die hinsichtlich Technik und Wirtschaftlichkeit optimalen Ergebnisse zu erzielen, ist der Einsatz von Simulationsverfahren essenziell. Insbesondere bei Entwicklung und Beurteilung der Werkstoffqualität sowie bei der Gestaltung der Herstellverfahren hat die MTU damit bereits sehr gute Erfahrungen gemacht.“*

---

**Dr. Jörg EBlinger**, Senior Consultant Materials bei der MTU

---

dampfgehalt sollte keineswegs unterschätzt werden. Jegliche Korrosion beeinträchtigt die Funktion eines Bauteils. Wir müssen herausfinden, welche speziellen Beschichtungen zum Schutz der Werkstoffe erforderlich sind.

**Jörg EBlinger:** Der hohe Anspruch gilt auch für das MTU-Antriebskonzept der Flying Fuel Cell. Hier stehen nicht hohe Temperaturen im Vordergrund, stattdessen sind mit dem Konzept vor allem die Elektrifizierung und der Einfluss von Wasserstoff verbunden, der für Materialien nicht unkritisch ist. Wir bekommen es mit neuartigen Komponenten zu tun, etwa die Bauteile der Brennstoffzelle selbst, und mit für den Flugtriebwerksbau neuen Werkstoffen und deren Funktionen. Das sind beispielsweise Magnete, kryogener Wasserstoff, aber auch elektrochemische Fragestellungen. In einer Brennstoffzelle reagieren mitgeführter Wasserstoff und Sauerstoff aus der Luft unter Abgabe elektrischer Energie. Es entsteht Wasser. Wasserstoff und Sauerstoff – das klingt erst einmal harmlos. Aber wenn Wasserstoff ins Material eindringt, droht Versprödung. Deshalb arbeiten wir intensiv daran herauszufinden, wie groß der Einfluss ist und wie die Materialien geschützt werden können.

**AEROREPORT: Was wären das für Werkstoffe?**

**Inga Stoll:** Ich denke hier etwa an spezielle Polymere, Schichten und Funktionswerkstoffe, zum Beispiel mit elektrisch-magnetischen Eigenschaf-

ten oder als Sensoren. Sie sind ebenso wie die neue Atmosphäre, die im Triebwerk herrscht, alles andere als Standard für uns. Es geht dann auch um die erforderlichen Qualifizierungen dieser Materialien und auch hier um eine stabilwirtschaftliche Herstell- und Reparierbarkeit. Gerade für neue Werkstoffe und Beschichtungen müssen die Sicherheitsnachweise bis ins kleinste Detail erbracht werden.

**AEROREPORT: Die luftfahrtspezifischen Anforderungen sind ja sehr hoch.**

**Jörg EBlinger:** Genau. Die Qualifizierung neuer Materialien und ihrer Funktionen für die kommerzielle Fluganwendung sind sehr anspruchsvoll. Faktoren, wie hohe mechanische Belastungen, lange Haltbarkeit und Schadenstoleranz, spielen eine Rolle. Unterschiedliche Kunststoffe, Verbundwerkstoffe, Metalle, Magnete, Katalysatoren, Folien sowie Beschichtungen, mit denen wir arbeiten werden, sind in der jeweiligen Funktion teilweise neu für die Anwendung in Flugtriebwerken. Außerdem müssen wir die neuen Werkstoffe testen, zum Beispiel wie sie in einer feuchten, auch aggressiven Atmosphäre funktionieren. Solche Testmöglichkeiten bauen wir auf.

Mit dem neuen MTU-Bauteiltestzentrum sind wir bereits hervorragend aufgestellt und unsere Partner aus Forschung und Dienstleistung unterstützen nach Kräften. Es gibt viel zu tun.



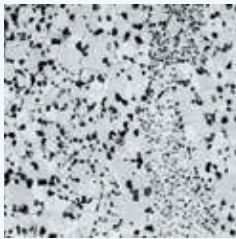
**Dr. Jörg EBlinger** —  
Senior Consultant Materials  
bei der MTU



**Dr. Inga Stoll** —  
Leiterin Werkstofftechnik bei  
der MTU

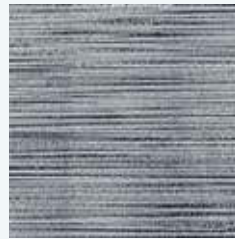
# WERKSTOFFE IM ÜBERBLICK

**Robust, leicht und besonders hitzeresistent – in Triebwerken sind die Anforderungen an Werkstoffe besonders hoch. Doch was sind eigentlich Nickelsuperlegierungen und Co.? Die wichtigsten Werkstoffe und zugehörige Methoden in Triebwerken – bereits im Einsatz oder noch Zukunftsmusik – stellt der AEROREPORT hier vor.**



## Nickelbasis-Superlegierungen:

Nickelbasis-Superlegierungen sind Werkstoffe, die zu fast zwei Dritteln aus Nickel bestehen. Die Vergrößerung zeigt das charakteristische, mikrostrukturelle Merkmal der quaderförmigen, sogenannten  $\gamma'$ -Ausscheidung, (einer intermetallischen Phase) in der metallischen  $\gamma$ -Matrix. Diese spezielle Struktur ermöglicht – neben Legierungszusätzen mit schweren Elementen – hohe Festigkeiten bis zu hohen Temperaturen.



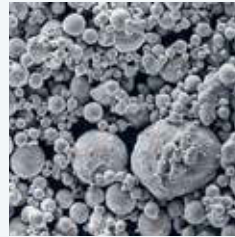
## Nickelbasis-Superlegierungen als Einkristallvarianten:

Als Spezialfall der Nickelbasis-Superlegierungen wird hier das Gefüge eines einkristallinen hergestellten Werkstoffes gezeigt. Sie werden durch spezielle Gussverfahren ohne Korngrenzen, also als ein durchgehender Kristall, hergestellt. Sie können bei höchsten Temperaturen, nicht weit von ihrem Schmelzpunkt entfernt, eingesetzt werden.



## Titanlegierungen:

Hauptbestandteil von Titanlegierungen ist Titan. Mit den im Triebwerksbau zugelegten Legierungselementen und durch die Wahl der Herstellparameter können sehr unterschiedliche, typischerweise lamellenförmig oder globular erscheinende Mikrostrukturen mit unterschiedlichen Vorteilen erstellt werden. Im Beispiel des Bildes sind beide Ausprägungen gemischt, eine sogenannte bimodale Struktur.



## Pulvermetallurgische Werkstoffe:

Bei der Pulvermetallurgie werden aus der Schmelze durch Verdüsen Pulverpartikel erzeugt. Qualitätsmerkmale sind vor allem die Reinheit von Fremdpartikeln, die Durchmesser- und Formverteilung, die Form und Oberflächenbeschaffenheit sowie die chemische Verteilung und das Gefüge im Innern der Partikel.



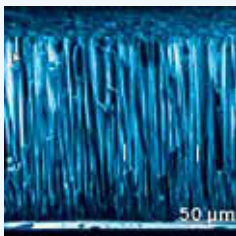
## Additiv hergestellte Werkstoffe:

Bei der additiven Bauteilherstellung wird Material sukzessive positioniert und mit dem schon vorhandenen Material verbunden. Das kann etwa durch Aufschmelzen von Draht oder Pulverpartikeln mittels Laser oder Elektronenstrahl erfolgen und erfordert besonderes Augenmerk auf die Qualitätssicherung. Die additive Fertigung bietet hohe Freiheitsgrade um komplexe Strukturen für den Leichtbau herzustellen.



## Faserverstärkte Kunststoffe (Verbundwerkstoffe):

Faserverstärkte Kunststoffe sind sogenannte Verbundmaterialien, das heißt sie bestehen aus zwei völlig unterschiedlichen Komponenten. Dabei werden hochfeste Fasern aus verschiedenen Werkstoffen, etwa Kohlenstoff, die in verschiedener Weise miteinander verwebt wurden, in eine Matrix aus Kunststoff (Polymere) eingebettet. Am Beispiel eines Innenrings lässt sich diese Struktur an der Oberfläche gut erkennen.



## Schichten (Funktionswerkstoffe):

Die Beschichtungen in Triebwerken zeichnen sich durch eine besonders große Vielfalt bezüglich Werkstoff, Herstellverfahren, Struktur und Funktion aus. So werden Kunststoffe, Metalle und Keramiken zum Teil miteinander verwendet. Die Schichten sehen im Mikroskop homogen oder stark strukturiert aus. Mehr als 60 Prozent der Triebwerksbauteile sind beschichtet. Auf dem Bild ist eine aufgedampfte, in Stängeln gewachsene, keramische Wärmedämmschicht zu erkennen.



## Werkstoffsimulationen:

Unter Werkstoffsimulationen sind alle computergestützten Analysen zur Entstehung eines Werkstoffes und zur Beschreibung seiner Eigenschaften zu verstehen. Da das Materialverhalten durch eine Kombination der Strukturen in verschiedenen, mikroskopischen Größenskalen – bis hin zu den Atomen – bestimmt wird, bedarf es auch unterschiedlicher mathematisch-physikalischer Methoden. Hier ist das computergenerierte  $\gamma / \gamma'$ -Mikrogefüge eines Nickel-Basis-Einkristalls zu sehen.



**Inga Stoll:** Umso wertvoller ist, dass wir auf ein starkes Netzwerk bauen können. Unsere Kooperationen mit Hochschulen, Forschungsinstituten und Herstellern sind wichtig, um Know-how, Investitionen und Risiko zu teilen. Vor allem in der Entwicklung setzen wir auf Partner, die aktiv an neuartigen Werkstoffen und eigenen Herstellverfahren arbeiten. Der Einsatz von Faserverbundwerkstoffen hat uns beispielsweise schon zu Zulieferern aus Branchen wie der Textilindustrie geführt, mit denen die MTU bislang wenig vernetzt war. Wichtig für uns ist die anwendungsnahe Entwicklung. Wenn die MTU in zehn Jahren einen neuartigen Werkstoff einsetzen will, müssen die Forschungsaktivitäten konsequent an den Bedarfen des Endproduktes ausgerichtet sein.

**Jörg Eblinger:** Dabei gilt es keine Zeit zu verlieren. Um die Entwicklung zu beschleunigen und die hinsichtlich Technik und Wirtschaftlichkeit optimalen Ergebnisse zu erzielen, ist der Einsatz von Simulationsverfahren essenziell. Insbesondere bei Entwicklung und Beurteilung der Werkstoffqualität sowie bei der Gestal-

tung der Herstellverfahren hat die MTU damit bereits sehr gute Erfahrungen gemacht. Schlüssel sind hier die Vernetzung von mehreren, in verschiedenen Größenskalen wirkenden Simulationen sowie der Mut zur Anwendung neuartiger Methoden. Aber auch bei den Qualitätsbewertungen in der Serie kommen zukünftig zunehmend digitale Verfahren zum Einsatz.

#### **AEROREPORT: Welche sind das?**

**Jörg Eblinger:** Ein Beispiel ist die MTU-Deep-Learning-Software ‚Neuronal Analysis Tool to evaluate rapid‘, kurz Natter. Sie klassifiziert mit Hilfe künstlicher Intelligenz in bisher nicht bekannter Schnelligkeit Mikroskopaufnahmen von Metallen. Das erspart tagelange Bildbearbeitung am PC. Für die Digitalisierung der Werkstofftechnik braucht es Spezialist:innen, die über interdisziplinäre Fähigkeiten in den Bereichen Werkstoffe und Informatik verfügen. Wir sind froh, dass wir unsere Teams verstärken konnten und ausgezeichnete Expert:innen an Bord geholt haben. ✈️

#### **AUTORIN:**



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

#### **WEITERE INFORMATIONEN ZUM THEMA „WERKSTOFFE“:**

Die Werkstoffe in Triebwerken  
[www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)





# Flugzeuge vor der Kamera

*Konstantin von Wedelstädt ist Planespotter. Seit mehr als 30 Jahren fotografiert er Flugzeuge. Ein Gespräch über das perfekte Motiv, Spotter-Positionen und spektakuläre Eindrücke.*

**Autorin:** *Nicole Geffert*



*„Ich konzentriere mich auf zivile Flugzeuge – vom Business-Jet aufwärts – und gehöre zu den Planespottern, die überwiegend klassisch oder old-school arbeiten.“*

---

**Konstantin von Wedelstädt**

---

**AEROREPORT: Wie sind Sie zum Planespotting gekommen?**

**K. von Wedelstädt:** Ich war noch im Kindergartenalter, als ich das erste Mal mit einem Flugzeug verreist bin. 1973 bin ich zusammen mit meinen Eltern in einer Caravelle der Fluggesellschaft LTU in den Urlaub von Düsseldorf nach Malaga geflogen. Daran erinnere ich mich noch gut. Auch an die Aufregung, die dieser erster Flug in mir ausgelöst hat. Als ich Mitte der 1980er Jahre meine erste Fotokamera bekam, hat es mich immer wieder auf die Besucherterrasse des Flughafens in Düsseldorf gezogen. Damals wusste ich oft nicht, welche Flugzeuge an dem Tag starten und landen würden. Das war wie ein Glücksspiel und sehr aufregend.

**AEROREPORT: Was fasziniert Sie daran, Flugzeuge zu beobachten und zu fotografieren?**

**K. von Wedelstädt:** Die Flugzeugtechnik und das Fliegen begeistern mich. Das Flair der großen weiten Welt schwingt auch immer mit, wenn ich Flugzeuge beobachte. Zu meiner aktuellen Ausrüstung gehören eine digitale Spiegelreflexkamera und Teleobjektive, um die zum Teil weit entfernten Flugzeuge im Detail fotografieren zu können. Auch das Sammeln und Archivieren gehört zum Planespotting. Als ich kürzlich 30 Jahre alte Dias gescannt habe, war das wie eine Reise in die Vergangenheit.

**AEROREPORT: Planespotter sind also auch leidenschaftliche Sammler?**

**K. von Wedelstädt:** Richtig, das gehört zu dem Hobby dazu. Auch ich habe zuerst mit Abzügen und klassischen Fotoalben angefangen, aber schon bald auf Dias gewechselt – das war quasi der Goldstandard der Planespotter. Ende der 1990er Jahre habe ich mir einen Dia-Scanner gekauft und sämtliche meiner Dias digitalisiert. Das war auch die Zeit, als die ersten Datenbanken für Flugzeugbilder an den Start gingen – wie [airliners.net](http://airliners.net). Dort sind inzwischen rund 10.000 Fotos von mir online. Bis in der 2000er Jahre galt Planespotting eher als ein Hobby von Nerds. Aber das hat sich geändert, seit immer mehr Menschen fliegen und selbst zur Kamera greifen, um Flugzeuge zu fotografieren, mit denen sie ans Mittelmeer oder ans andere Ende der Welt reisen. Die Planespotter-Szene ist jedenfalls stark gewachsen.

**AEROREPORT: Worauf kommt es an, wenn Sie ein Flugzeug fotografieren – das Flugzeugmuster, die Lackierung oder der Hintergrund?**

**K. von Wedelstädt:** Ich konzentriere mich auf zivile Flugzeuge – vom Business-Jet aufwärts – und gehöre zu den Planespottern, die überwiegend klassisch oder old-school arbeiten: Uns kommt es darauf an, das Flugzeug von der Seite zu fotografieren,

perfekt belichtet und möglichst mit attraktivem Hintergrund. Motive ergeben sich beim Landen und Starten, aber auch, wenn das Flugzeug auf dem Rollfeld steht. Die sozialen Medien haben die Szene aber sichtbar verändert. Durch Instagram hat sich beispielsweise eine sehr kreative Form des Planespottings entwickelt. Es wird mit Filtern gearbeitet, die Flugzeuge werden auch von unten oder von hinten fotografiert. Hier lasse ich mich auch gern inspirieren und habe meinen eigenen Instagram-Account gestartet.

**AEROREPORT: Dürfen Planespotter überall fotografieren?**

**K. von Wedelstädt:** Grundsätzlich gilt, sich vorab zu erkundigen, welche Regeln in den jeweiligen Ländern und Flughäfen gelten. Aus Sicherheitsgründen ist es nicht überall erlaubt, beispielsweise vom Flughafenzaun aus zu fotografieren. Für manche Flughäfen benötigen wir Genehmigungen. Ich arbeite seit 25 Jahren bei der Lufthansa und hatte einst das große Glück, die Concorde aus dem Bürofenster der Lufthansa am Airport Heathrow fotografieren zu können.

**AEROREPORT: An welchem Flughafen fotografieren Sie am liebsten? Welches Foto ist Ihr Favorit?**

**K. von Wedelstädt:** Einer der besten Flughäfen zum Fotografieren ist Amsterdam Schiphol. Da stimmen die Rahmenbedingungen für Planespotter, das heißt, es gibt zahlreiche attraktive Aussichtspunkte zum Fotografieren. Ich habe inzwischen eine ganze Reihe persönlicher Foto-Highlights in meiner Sammlung – beispielsweise eine Boeing 747 der Lufthansa, die vor einem Sonnenuntergang über Frankfurt a. M. fliegt. So einen perfekten



*„Durch Instagram hat sich beispielsweise eine sehr kreative Form des Planespottings entwickelt.“*

**Konstantin von Wedelstädt**

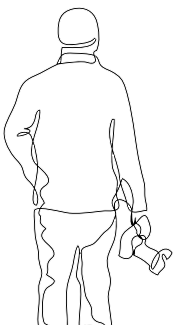
Himmel habe ich nie wieder mit meiner Kamera eingefangen.

**AEROREPORT: Sind Flughäfen wie St. Maarten am Maho Beach in der Karibik wirklich so aufregend?**

**K. von Wedelstädt:** Das ist durchaus spektakulär. Ich war vor zehn Jahren im Urlaub dort. Es landen dort sehr viele Privatjets, die für mich als Planespotter nicht so interessant sind. Als dann aber eine Boeing 747 von KLM im Tiefflug über den Strand donnerte, war das beeindruckend und körperlich spürbar. Allerdings hänge ich mich nicht wie einige Touristen an Flughafenzaune, um dann im Abgasstrahl eines startenden Flugzeugs zu zapeln. Das ist leichtsinnig und gefährlich, allein schon wegen der herumfliegenden Steine.

**AEROREPORT: Gibt es Ziele, die Sie als Planespotter noch anpeilen?**

**K. von Wedelstädt:** Ich möchte gern noch nach Rio de Janeiro, um vom Zuckerhut aus Flugzeuge abzulichten, die unterhalb von mir fliegen. Japan ist übrigens ein Land, das sehr Planespotter-freundlich ist. Es gibt dort an den Flughäfen tolle Spotter-Positionen. Ich gehöre allerdings nicht zu den Planespottern, die nur wegen der Fotos um die Welt reisen. Vielmehr nutze ich die Chance, wenn ich dienstlich oder privat verreise, einen Tag mit meiner Kamera am Flughafen zu verbringen. Seitdem ich mehr als 30 Jahre Flugzeuge fotografiere, habe ich auch immer wieder mit dem Gedanken gespielt, einen Pilotenschein zu machen. Letztendlich fehlt mir aber die Zeit – und das Planespottung hat Vorrang! 



**Rund 10.000 Bilder** — In Datenbanken für Flugzeugbilder sind rund 10.000 Bilder von Konstantin von Wedelstädt online. Und auch auf Social Media ist er aktiv.

**bei airliners.net:**  
Photographer: Konstantin von Wedelstaedt

**bei Instagram:**  
Konstantin von Wedelstaedt (@flying\_high\_photos)

**AUTORIN:**



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





01

**01** — Die Boeing 747 der Lufthansa, die vor einem Sonnenuntergang über Frankfurt a.M. fliegt ist ein Foto-Highlight von Konstantin von Wedelstädt.



02

**02** — Wenn eine Boeing 747 von KLM im Tiefflug über den Maho Beach in St. Maarten donnerte, ist das beeindruckend und körperlich spürbar.

**03** — Im Flughafen in Amsterdam Schiphol gibt es zahlreiche attraktive Aussichtspunkte zum Fotografieren – ideal für Planespotter.

**04** — Konstantin von Wedelstädt arbeitet seit 25 Jahren bei der Lufthansa und hatte einst das große Glück, die Concorde aus dem Bürofenster der Lufthansa am Airport Heathrow fotografieren zu können.



03



04



# Kabine mit Kakteenleder

*Viel bieten auf wenig Platz, das ist die Formel bei der Gestaltung von Flugzeugkabinen. Die Kabinenmesse in Hamburg zeigt jeweils die neuesten Innovationen an Bord.*

**Autor:** Andreas Spaeth

Kaum ein kreativer Schaffensprozess ist so komplex wie die Gestaltung von Flugzeugkabinen. Der Kabinenboden eines Passagierflugzeugs dürfte zur teuersten Fläche der Welt gehören, jeder Quadratzentimeter ist kostbar. Denn der hier zur Verfügung stehende Platz lässt sich nicht beliebig vergrößern und Fluggesellschaften sind darauf angewiesen eine Formel für ihre Flugzeugausstattung zu finden, die sowohl die Kundenwünsche bedient, aber gleichzeitig den Betreiber auch wirtschaftlich auf seine Kosten kommen lässt. Und dazu gehört neuerdings vor allem, dass das Flugzeug selbst, aber auch die Einbauten in seinem Inneren, nachhaltig sind. Für Designer ist das ein enorm anspruchsvolles Puzzlespiel, bei dem sie sehr vielen Zwängen unterworfen sind und nur selten kühne Ideen umsetzen können. Einmal im Jahr trifft sich die Kabinenbranche auf der Fachmesse Aircraft Interiors Expo (AIX) in Hamburg.

Einer der Stammgäste ist der italienische Ingenieur Gaetano Perugini vom Hersteller Aviointeriors, und er glänzt oft mit ausgefallenen Lösungen. Auf der diesjährigen AIX im Juni 2022 präsentierte er am Stand seiner Firma wieder einige Hingucker, darunter das Modell Triangle. Hier ist der Mittelsitz einer Economy-Dreierreihe immer um die Hälfte weiter nach vorn versetzt, „das ist ideal für Abstand und die Ellbogenfreiheit aller“, sagt Perugini und demonstriert das Besuchern persönlich bei der gemeinsamen Sitzprobe. Um in den Mittelsitz hineinzukommen ist der nach vorn ragende Teil der Sitzfläche hochklappbar, die

Nachbarn sind zusätzlich durch seitlich in Ohrenhöhe nach vorn ragende Kopfteile voneinander abgeteilt.

Sehr optimistisch ist der Italiener allerdings nicht, dass Airlines zureifen werden – schließlich tun sie sich traditionell schwer mit allen Kabinen-Innovationen. „Das sind alles Ideen für die Diskussion“, sagt auch der bei Virgin Atlantic Airways für das Kundenerlebnis zuständige Anthony Woodman. Dabei wären Verbesserungen gerade dort, wo die riesige Mehrheit der Kunden unterwegs ist, dringend nötig. „Die Passagiererfahrung in der Economy Class ist über die gesamte Branche grenzwertig“, spricht es Matt Round deutlich aus, der Chef-Kreative der Londoner Designagentur Tangerine.

## Im Fokus: weniger Gewicht

Derzeit zählt vor allem Leichtbauweise in der Economy Class, denn weniger Gewicht an Bord bedeutet weniger Spritverbrauch und weniger Emissionen. „Das ist weiter der große Trend, unser leichtester Economy-Sitz für Mittelstrecken wiegt jetzt pro Passagier achteinhalb Kilogramm, das sind 25 Prozent weniger als die Vorgängergeneration“, sagt Mark Hiller, Chef des deutschen Sitzbauers Recaro, Weltmarktführer im Economy-Segment. Auf der Langstrecke bringt der leichteste Sitz aktuell noch 12 statt vorher 13,5 Kilogramm auf die Waage, unter anderem neue Materialien wie Titan, Kohlefaserverbundwerkstoffe und neue Magnesium-Legierungen machen das möglich. Auch neue biegsame, dünne OLED-Bildschirme sind eine gute Einsparmöglichkeit für viele Kilogramm.



03



04



05

### 01 Elevate-Kabinekonzept mit schwebenden Möbeln

— Dieses Premium-Kabinekonzept für Schmalrumpf-Flugzeuge, entworfen von der Londoner Designagentur Teague, beeindruckt visuell dadurch, dass Sitze und Monumente nicht mehr auf dem Kabinenboden, sondern an Wandverstreibungen befestigt sind.

### 02 Privatabteil für Premiumkunden im Narrowbody

— Langstrecken von bis zu elf Stunden Flugdauer können künftig auch von Narrowbodies bewältigt werden. Für diese Jets hat Safran jetzt seinen VUE-Sitz präsentiert, der Privatabteile mit vergleichbarem Komfort und Privatsphäre bietet wie man sie aus Großraumjets kennt.

### 03 Mehr Privatsphäre in der Economy Class mit „Triangle“

— In der Economy Class sind Innovationen selten. Aviointeriors bringt mit den „Triangle“-Sitzten jedem Fluggast mehr Privatsphäre. Der Mittelsitz jeder Dreierreihe ist nach vorn versetzt montiert, zum leichteren Einsteigen lässt sich die vordere Sitzfläche des Mittelsitzes wie ein Kinostuhl nach oben klappen.

„Genauso wichtig ist, einzelne Materialien oder ganze Sitze zu recyceln, aber das ist gerade bei Kohlefaser schwierig“, weiß Hiller. Deshalb schaut sich die Branche derzeit auch nach neuen Ideen um, wie Sitzbezüge umweltschonender herzustellen sind. „Es gibt neue, nachhaltige Materialien wie veganes Kaktusleder oder Pilzleder, das aus nachwachsenden Rohstoffen besteht und wie Kakteen auch kein Wasser verbraucht“, sagt Matthew Nicholls vom Textilanbieter Tapis. „Die Frage ist, kann man die Produktion entsprechend hochfahren, um es im großen Stil kommerziell zu nutzen“?

### Mehr Komfort für die neuen Langstrecken-Jets

Der neueste Trend in der Business Class auf Langstrecken allerdings läuft dem Streben nach Leichtigkeit zuwider: „Schiebetüren für die Privatsphäre in den Abteilen sind jetzt Standard bei High-End-Produkten“, sagt Vincent Mascré, Chef von Safran Seats. „Die Passagiere erwarten das, aber es sorgt leider auch für zusätzliche Komplexität und Gewicht“ – acht bis zehn Kilogramm pro Sitz für eine Schiebetür und allem was dazugehört. Seit kurzer Zeit dringen erstmals auch Schmalrumpf-Flugzeuge auf den Langstreckenmarkt, allen voran der Airbus A321XLR, der während der AIX im Juni 2022 ebenfalls in Hamburg seinen Erstflug feierte.

### 04 Der feuerfeste Luftfrachtcontainer

— Die Firma Safran geht mit feuerfesten Flugzeug-Gepäckcontainern gegen ein zunehmendes Risiko in der Luftfahrt vor. Sie bieten den immer häufiger werdenden Bränden an Bord durch die Entzündung von Lithium-Ionen-Akkus und -Batterien bis zu sechs Stunden Paroli.

### 05 Klemmbrett statt Klapptisch

— Recaro zeigte einen kleinen, an der Sitzrückwand einsteckbaren Kunststoffisch mit Getränkehaltern, der nur 185 Gramm wiegt (rechts im Bild). Sobald ein Fluggast es wünscht oder im Bordshop Verpflegung ordert, würde er den Einstecktisch vom Kabinenpersonal erhalten.

Und in diese zuvor Mittelstrecken vorbehaltenen Jet-Klasse halten jetzt üppige Premium-Produkte Einzug. Derzeit liefern sich die Kabinen-Hersteller ein Wettrennen, ihre eigentlich für Großraumflugzeuge konzipierten Luxus-Abteile auch für kleinere Jets zu adaptieren. Das klappt erstaunlich gut, inklusive Schiebetür. Wie heute schon die US-Gesellschaft JetBlue auf Transatlantikstrecken mit einem A321LR, werden künftig viele Airlines die erste Reihe in den Schmalrumpf-Jets mit zwei Suiten bestücken, die zuweilen mehr Platz bieten, als Suiten in den bereits fliegenden Widebody-Jets. Die Sitzbranche kann und muss eben flexibel sein – und vermutlich sitzt Gaetano Perugini auch bereits in seinem Büro in Neapel und tüftelt dafür an neuen Lösungen. ✈️

#### 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.

# Schneller, weiter, höher

*Der Traum vom Fliegen pusht die Luftfahrt zu immer neuen Rekorden.*

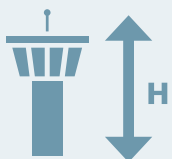
**Autor:** Thorsten Rienth

Die erste Bestmarke der Luftfahrt stammt vom 17. Dezember 1903 und dem weltweit ersten Motorflug mit einem Menschen an Bord: Gerade einmal 59 Sekunden dauerte der Flug. Schon nach 260 Metern setzte der „Wright Flyer“ in der Kleinstadt Kitty Hawk im US-Bundesstaat North Carolina wieder auf dem Boden auf. Für die Menschheit ging der Traum vom Fliegen zu Ende – denn er wurde Realität. Seither stellte die Luftfahrt zahlreiche neue Rekorde auf und bricht sie immer wieder. Etwa beim größten Terminal-Gebäude, der längsten Flugstrecke, dem leistungsstärksten Triebwerk oder dem höchsten Flughafen-Kontrollturm, um nur einige wenige zu nennen.



**Rekord N° 01**  
Längste zivil genutzte  
Landebahn der Welt

Die beiden Landebahnen des Münchner Flughafens sind jeweils erst nach exakt vier Kilometern zu Ende. Damit gehören die Landebahnen zwar zu den längeren ihrer Sorte – bis zu einem Rekord ist es aber noch weit. Die längste zivil genutzte Landebahn der Welt misst 5.500 Meter und gehört zum 4.334 Meter über Meereshöhe liegenden Flughafen Changdu Bangda Airport im autonomen Gebiet Tibet in China. Bei den militärisch genutzten Landebahnen hält die Edwards Air Force Base Landebahn 17/35 auf dem Rogers Dry Lake im US-Bundesstaat Kalifornien mit 11.917 Metern den Rekord.



**Rekord N° 02**  
Höchster  
Flughafen-  
Kontrollturm

Lotsen müssen unter extremen Bedingungen die besten Entscheidungen treffen. An den Flughäfen sind sie dafür auf den besten Überblick über das gesamte Areal angewiesen. Abhängig vom Airport-Layout müssen die Kontrolltürme dafür weit gen Himmel ragen. Der höchste steht am Suvarnabhumi-Flughafen in Thailands Hauptstadt Bangkok. Mit 132 Metern verweist der Airport die Tower von Kuala Lumpur (130 Meter) und Atlanta (121 Meter) auf die Plätze zwei und drei.



**Rekord N° 03**  
Größter  
Flughafen  
nach Fläche

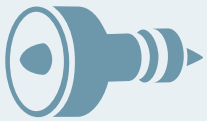
Der King Fahd Airport in Dammam, Saudi-Arabien, ist der flächenmäßig größte Flughafen der Welt. Das Flughafengebäude steht auf 36,8 Quadratkilometern Land – das ganze Flughafengelände erstreckt sich allerdings über stolze 776 Quadratkilometer. Keine Abflug- und Ankunftshalle kann jedoch mit den 700.000 Quadratmetern des Terminals des Pekinger Flughafens Beijing Daxing International Airport mithalten. Nach der ab dem Jahr 2040 geplanten letzten Ausbaustufe soll der Flughafen jährlich bis zu 130 Millionen Passagiere abwickeln können.



**Rekord N° 04**  
Längste Nonstop-Verbindung



Der aktuell längste Liniennonstopflug verbindet Singapur mit New York. Die Strecke misst 15.349 Kilometer, je nach Windverhältnissen befindet sich der Airbus A350-900ULH der Singapore Airlines bis zu 18:30 Stunden in der Luft. Doch es scheint nur eine Frage der Zeit, bis der Rekord gebrochen wird: Die australische Airline Qantas Airways hatte bereits eine rund 17.700 Kilometer lange Direktverbindung von London nach Sydney getestet und wollte sie im Jahr 2022 ins Programm nehmen. Die Corona-Pandemie verschob den Zeitplan jedoch.



### Rekord N° 05

## Schubstärkstes ziviles Triebwerk

Mit einem Fan-Durchmesser von stolzen 3,40 Metern ist das GE9X von GE Aviation das aktuell größte gebaute zivile Triebwerk. Der Nachfolger des GE90-115B soll das neue Langstreckenflugzeug Boeing 777X in die Luft bringen. Und die Superlative hört hier nicht auf: Das GE9X gilt ebenfalls als das leistungsstärkste zivile Triebwerk der Welt. Auf dem Prüfstand erreichte es einen Schub von 134.300 Pfund – den bisherigen Rekord hielt die GE90-115B mit 127.900 Pfund. Seit 2019 ist das GE9X sogar im Guinness-Buch der Rekorde als schubstärkstes ziviles Flugtriebwerk eingetragen.



### Rekord N° 06

## Pünktlichste Airline

Der Flugdatenspezialist Cirium ermittelt alljährlich die Pünktlichkeitsraten der Airlines weltweit. Pünktlich ist demnach jeder Flug, der innerhalb von 15 Minuten nach der angegebenen Zeit das Gate erreicht. Im Jahr 2021 ging der erste Platz an die japanische Airline All Nippon Airways mit einer Pünktlichkeit von 95,04 Prozent, dicht gefolgt von Japan Airlines mit 94,13 Prozent. In Europa liegen zwei spanische Airlines vorne: Vueling Airlines mit 92,13 Prozent sowie Iberia Express mit 91,81 Prozent.



### Rekord N° 07

## Das größte noch fliegende Flugzeug der Welt

Der Airbus A380-800 ist nicht nur das größte Passagierflugzeug der Welt, sondern auch das größte noch fliegende Flugzeug der Welt. Er ist stolze 72,3 Meter lang, hat eine Spannweite von knapp 80 Metern und ein maximales Startgewicht von circa 590 Tonnen. Der A380 beerbte die in der Sowjetunion entwickelte und gebaute Frachtmaschine Antonow An-225, dessen letztes noch fliegende Exemplar in ihrem Hangar im Zuge des Ukraine-Krieges 2022 zerstört wurde.



### Rekord N° 08

## Passagierstärkster Flughafen

Die Corona-Pandemie hat den weltweiten Luftverkehr ordentlich durcheinandergewirbelt – und so auch die Ranglisten der passagierstärksten Flughäfen. Laut Airports Council International (ACI) heißt der neue (und alte) Spitzenreiter im Jahr 2021 wieder Hartsfield-Jackson Atlanta International Airport. Mit 75,7 Millionen Passagieren ist er allerdings noch weit von der Bestmarke aus dem Jahr 2019 (110,5 Millionen) entfernt. Im Jahr 2020 landete zwischenzeitlich der Guangzhou Bai Yun International Airport in China mit 43,8 Millionen Passagieren auf Platz 1.



### Rekord N° 09

## Herausforderndster Flughafen

So richtig „berechnen“ lässt sich das Ranking der herausforderndsten Flughäfen natürlich nicht. Als heißer Kandidat für den ersten Platz wird regelmäßig der Tenzing-Hillary-Airport von Lukla in Nepal genannt. Er liegt in einer Höhe von 2.843 Metern, seine Start- und Landebahn ist gerade mal 527 Meter lang, hat eine Steigung von rund 15 Prozent – und endet an einer 600-Meter-Klippe. Zum Einsatz kommen in Lukla vor allem sogenannte STOL-Flugzeuge („Short Take-Off and Landing“) der Typen de Havilland Canada DHC-6 und Dornier 228.



### Rekord N° 10

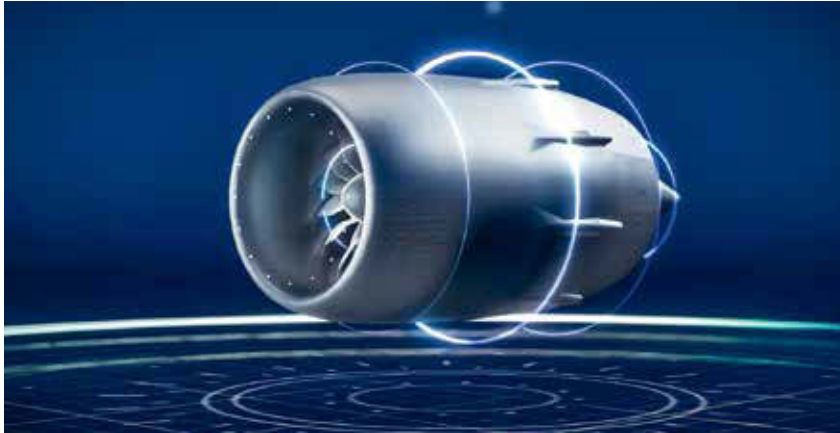
## Das teuerste Flugzeug der Welt

Rechnet man die Entwicklungskosten hinzu, kostete der von 1988 bis 1997 produzierte Northrop B-2 der U.S. Air Force, auch Stealth Bomber („Tarnkappenbomber“) genannt, 1,9 Milliarden Euro. Durch seine Form ist er für das Radar nahezu unsichtbar. Kein anderes Flugzeug kommt preislich an ihn ran. So kostet der teuerste Jet der Welt, die Boeing 747 des US-Präsidenten (Air Force One), „nur“ 650 Millionen Euro. Der modifizierte Airbus A380 des Saudi Prinzen Al Waleed Bin Talal al-Saud kostete 590 Millionen Euro.

**KURZ ERKLÄRT:**

# So funktioniert das WET-Konzept

*Mit dem Water-Enhanced Turbofan werden CO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Emissionen sowie die Kondensstreifenbildung signifikant reduziert. Er kann in allen Flugzeugklassen zum Einsatz kommen.*

**Was ist das WET-Konzept?**

Der Water-Enhanced Turbofan (WET) ist ein gasturbinenbasiertes Antriebskonzept, das voll auf das Know-how der MTU zurückgreift. Das WET-Konzept nutzt die Restwärme aus dem Abgas des Triebwerks. Hierzu wird mittels eines Dampferzeugers Wasser verdampft und in die Brennkammer eingespritzt. Das notwendige Wasser wird in einem Kondensator mit anschließender Wasserabscheidung aus dem Abgas gewonnen.

**Was sind die Vorteile des WET-Konzepts?**

Die Klimabilanz von WET ist einzigartig: CO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Emissionen werden vor allem durch die Rückgewinnung der Abgaswärme und der Dampfeinspritzung in die Brennkammer reduziert. Die Kondensstreifenbildung verringert sich durch die Ausfilterung von Partikeln aus dem Abgasstrahl. Der Energieverbrauch wird vermindert, indem die Abgaswärme rückgewonnen und damit der thermische Wirkungsgrad verbessert wird. Angetrieben von Sustainable Aviation Fuels (SAF) oder Wasserstoff ist bis zum Jahr 2035 eine Reduktion der Klimawirkung um etwa 80 Prozent gegenüber einer Fluggasturbine aus dem Jahr 2000 möglich – damit erreicht das WET-Konzept nahezu Klimaneutralität.

Nach der geplanten Markteinführung ab dem Jahr 2035 soll der Water-Enhanced Turbofan bis zum Jahr 2050 weiter optimiert werden. Mit dem Einsatz von near drop-in Kraftstoffen, also SAF, die chemisch angepasst werden, ließe sich die Klimawirkung maximal reduzieren. Würde WET mit Wasserstoff angetrieben, hätte das weitere Vorteile hinsichtlich klimarelevanter Emissionen.

**Wie funktioniert das WET-Konzept?**


Die Effizienz des Triebwerks wird durch die Rückgewinnung der ansonsten verloren gehenden Abgaswärme erhöht – Kraftstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen sinken. Im ersten Schritt entsteht in einem Dampferzeuger heißer Dampf. Das Abgas kühlt dabei ab. Durch weiteres Abkühlen des Abgases im Kondensator beginnt das darin enthaltene Wasser zu kondensieren. Die Kondensationswärme wird dem Nebenstrom zugeführt. Das flüssige Wasser wird dann in einem Wasserabscheider vom Abgas getrennt. Dabei werden auch Kondensationskeime aus dem Abgas ausgespült, was die Bildung von Kondensstreifen verringert. Anschließend wird das Wasser mittels einer Pumpe auf ein hohes Druckniveau gebracht und dem Dampferzeuger zugeführt. Bevor der Dampf in die Brennkammer geleitet wird,

**Nahezu Klimaneutralität**

Beim WET-Konzept wird massiv der Ausstoß von Stickoxiden vermindert. Auch Kraftstoffverbrauch, CO<sub>2</sub>-Emissionen und die Bildung von Kondensstreifen werden stark reduziert.

wird er in einer Dampfturbine entspannt. Die Leistung wird in die Niederdruckwelle eingespeist. Die Einspritzung des heißen Dampfes in die Brennkammer erhöht nicht nur die Effizienz des Triebwerks, sondern reduziert auch die Stickoxidemissionen (NO<sub>x</sub>).

**Wo kann WET eingesetzt werden?**

Das WET-Konzept kann mit Kerosin, SAF und Wasserstoff betrieben und auf der Kurz-, Mittel- und Langstrecke eingesetzt werden. Damit deckt sie den Bereich ab, in dem nahezu die gesamte Klimawirkung der Luftfahrt erzeugt wird. 

**Film ansehen**

Water-Enhanced Turbofan:  
Revolutionäres Antriebskonzept auf Basis des Getriebefans

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



## KURZ ERKLÄRT:

# So funktioniert die Flying Fuel Cell

Die FFC erzeugt weder  $CO_2$ - und  $NO_x$ -Emissionen noch Partikel. Emittiert wird lediglich Wasser. Damit ist dieses Antriebskonzept nahezu emissionsfrei.



### Flying Fuel Cell

Hier wird über eine Brennstoffzelle flüssiger Wasserstoff in Strom gewandelt – und eine nahezu emissionsfreie Lösung erzielt.

### Was ist die Flying Fuel Cell?

Die Flying Fuel Cell (FFC) ist das Brennstoffzellen-Antriebskonzept der MTU. In einer Brennstoffzelle reagieren Wasserstoff und Sauerstoff aus der Luft unter Abgabe elektrischer Energie – es entsteht Wasser. Mit der gewonnenen elektrischen Energie treibt ein hocheffizienter Elektromotor über ein Getriebe den Propeller an.

### Was sind die Vorteile der FFC?


Mit diesem Antriebssystem werden weder  $CO_2$ - und  $NO_x$ -Emissionen noch Partikel erzeugt; lediglich Wasser bleibt als Emission übrig. Mit bis zu 95 Prozent reduziert die FFC die Klimawirkung damit nahezu auf null. Auch werden erhebliche Lärmreduktionen erreicht, da der Propeller als einzige verbleibende Lärmquelle bleibt. Der Kern des Systems sind die Brennstoffzellen Stapel – im Englischen „Stacks“ genannt. Durch den elektrochemischen Umsatz von Wasserstoff in Strom wird ein hoher Wirkungsgrad erreicht. Die elektrochemische Reaktion findet außerdem unter deutlich kühleren Bedingungen statt als die herkömmliche Verbrennung. Dieser Umstand verdeutlicht zum einen den Anspruch an ein effizientes Kühlungssystem, zum anderen aber auch einige Vereinfachungen zum Beispiel bei der Wahl der Werkstoffe und Integrationsmöglichkeiten. Und das in der Brennstoffzelle verwendete Platin hat eine sehr gute Recyclingfähigkeit: Bei korrekter Aufbereitung sind die Metalle nahezu unendlich

oft wiederverwertbar. Auch findet diese Energiewandlung in den Stacks quasi ohne bewegliche Teile statt.

### Wie funktioniert die Brennstoffzelle?

Jede Brennstoffzelle erhält zwei plattenförmige Elektroden (Anode und Kathode). An der Anode zerfallen Wasserstoffmoleküle ( $H_2$ ) durch Elektronenabgabe zu positiv geladenen Wasserstoff-Ionen ( $H^+$ ). Die freien Elektronen fließen als nutzbarer Strom über einen äußeren Leiter zur Kathode. Dort bilden sie mit den Sauerstoff-Atomen negative Sauerstoff-Ionen ( $O_2^-$ ). Die Wasserstoff-Ionen vereinigen sich unter Abgabe von Wärme an der Kathode mit den Sauerstoff-Ionen zu Wasser.

### Wo kann die FFC eingesetzt werden?

Die FFC soll zunächst auf kürzeren Strecken im regionalen Flugverkehr zum Einsatz kommen. Mit der nächsten FFC Generation soll die FFC dann auch auf der Kurz- und Mittelstrecke fliegen und die Klimawirkung des zivilen Luftverkehrs weiter verringern. 

### Film ansehen

Flying Fuel Cell: vollständige Elektrifizierung für nahezu Emissionsfreiheit

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



## IMPRESSUM

### AEROREPORT 02|22

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

#### Herausgeber

MTU Aero Engines AG  
Eckhard Zanger  
Leiter Unternehmenskommunikation  
und Public Affairs

#### Redaktionsleitung

Dongyun Yang

#### Redaktion

Patricia Hebbing  
Isabel Henrich

#### Anschrift

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

#### Autoren

Nicole Geffert, Daniel Hautmann,  
Isabel Henrich, Thorsten Rienth,  
Andreas Spaeth, Monika Weiner

#### Layout

SPARKS CONSULTING GmbH, München

#### Bildnachweis

**Titel** Shutterstock  
3 MTU Aero Engines  
6\_7 MTU Aero Engines, Shutterstock  
8\_11 Shutterstock, MTU Aero Engines  
12\_15 DLR, MTU Aero Engines  
16\_19 ILA, MTU Aero Engines  
20\_23 Bauhaus Luftfahrt, MTU Aero Engines  
24\_29 DLR, Nasa Photo, MPI für Chemie,  
Airbus/S.Ramadier  
30\_35 wetterzeugen.at, Shutterstock,  
Daniel Hautmann  
36\_41 MTU Aero Engines, Airbus  
42\_47 Boom Supersonic, Airbus Heritage,  
US Navy, Nasa, Andreas Spaeth  
48\_53 MTU Aero Engines  
54\_57 Shutterstock,  
Konstantin von Wedelstädt  
58\_59 Andreas Spaeth, Crystal Cabin Award  
60\_61 Shutterstock  
62\_63 MTU Aero Engines

#### Druck

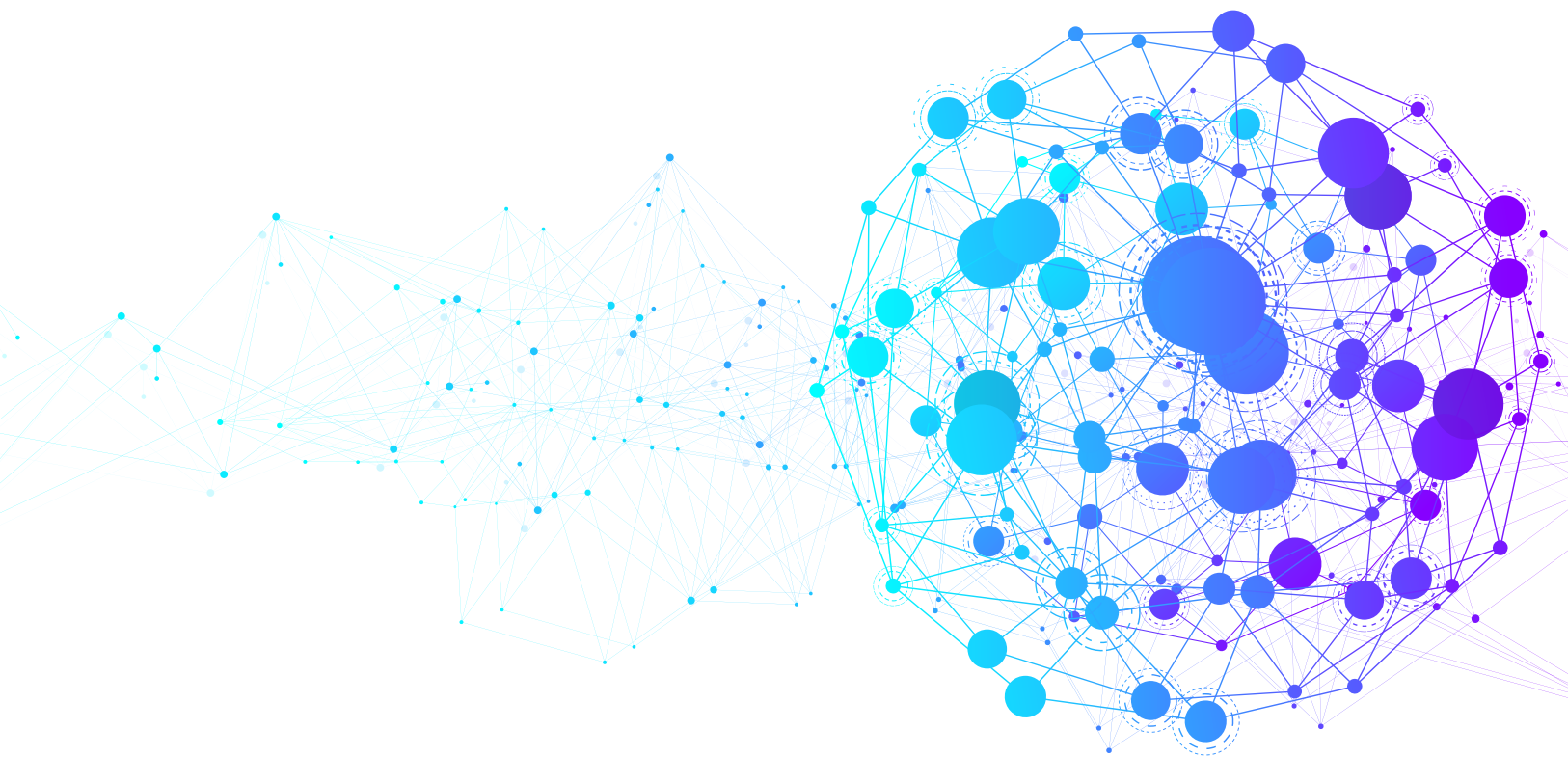
Schleunigungsdruck GmbH, Marktheidenfeld

#### Online

ADVVERMA  
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.



**AEROREPORT**

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