

## Im Aufwind

*Moderne Narrowbodies mit Getriebefan-Antrieb  
an Bord starten wieder durch*



### AVIATION

Die weltweit schnellsten  
Paketboten

### INNOVATION

Auf digitaler Mission –  
die MTU gibt digital Schub

### GOOD TO KNOW

To-do-Listen – der  
Sicherheit zuliebe



**LIEFERT EINE RECHENLEISTUNG  
VON 1.3 PETAFLIPS\* – UND SIE  
AGIEREN MITTEN IM ZENTRUM.**

\*1,3 Billionen Rechenoperationen pro Sekunde

**DER MOMENT, WENN DIE  
RECHNERKERNE GLÜHEN:  
UNVERGLEICHLICH.**

**Gesucht: IT-Experten (m/w/d)  
für die Luftfahrt 4.0.**

Dagegen ist jedes andere Rechenzentrum nur ein Abakus. Digitalisieren Sie mit uns die Luftfahrt von morgen und begleiten Sie uns auf unseren 4.0-Missionen. Bei der MTU.

Wir sind 10.000. An 15 Standorten weltweit. Jedes dritte Flugzeug fliegt mit unserer Technologie. Was wir noch brauchen? **Sie.**

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

**#UPLIFTYOURFUTURE**

## Liebe Leserinnen und Leser,

kaum einer industriellen Branche hatte die Covid-19-Pandemie so zugesetzt wie der weltweiten Luftfahrt. Inzwischen ist die Erholung spürbar, nicht zuletzt durch die breit angelegten Impfkampagnen. Der Wunsch nach Mobilität und Reisen kommt zurück und wir sind davon überzeugt, dass die Luftfahrt zu alter Stärke zurückfinden wird.

Die MTU ist durch ihr breit gefächertes Portfolio aus zivilem Geschäft, Instandhaltung und militärischen Aktivitäten bisher gut durch die Krise gekommen. Durch ein vielseitiges, flexibles Netzwerk und unsere Fähigkeit, uns schnell dem Markt anzupassen, sind wir auch für die Zukunft bestens aufgestellt.

Trotz der Krise treiben wir unsere Anstrengungen für eine nachhaltige Luftfahrt unvermindert voran. Das große Ziel ist dabei nach wie vor, über Klimaneutralität zur Emissionsfreiheit zu gelangen. Mit dem Getriebefan (GTF) realisieren Pratt & Whitney und die MTU bereits die effizientesten Triebwerke, die es derzeit auf dem Markt gibt. Durch die GTF-Technologie konnten bis heute mehr als fünf Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Ausstoß vermieden und fast zwei Milliarden Liter Treibstoff eingespart werden.

Und unsere Ingenieurinnen und Technologen arbeiten bereits an der zweiten Generation des Getriebefans: Die weitere Optimierung aller Komponenten ist ein wichtiger und unverzichtbarer Schritt auf dem Weg zur klimaneutralen Luftfahrt.

Weltweit hat die MTU für die Pratt & Whitney GTF™ Triebwerksfamilie an mehreren Standorten Instandhaltungskompetenzen aufgebaut. Davon verfügen drei sogar über die vollen Demontage-, Montage- und Testkapazitäten für PW1100G-JM-Triebwerke. Unsere Kunden und Partner erhalten somit den bestmöglichen Service und ein vollumfängliches Know-how.

Werfen Sie mit dieser Ausgabe des **AEROREPORT** einen Blick in die „Erfolgsstory GTF“. Ein beigefügtes Poster erklärt Ihnen die Funktionsweise eines GTF-Triebwerks und dessen wichtigsten Komponenten. Außerdem stellen wir Ihnen in dieser Ausgabe ausgewählte Projekte vor, mit denen wir bei der MTU die Digitalisierung vorantreiben. Und wir haben uns den Fragen gewidmet, wie Wasserstoff als vielversprechender Zukunftstreibstoff in Flugzeuge gelangen soll und welche Wirkung sein Einsatz auf das Klima haben wird.



Viel Freude beim Lesen wünscht Ihnen

Reiner Winkler  
Vorsitzender des Vorstands

**COVERSTORY**

## Im Aufwind

Die Luftfahrtbranche beginnt sich von der Covid-19-Krise zu erholen. Der Markt für Narrowbody-Jets ist als erster im Aufwind. Viele Airlines bevorzugen dabei die modernen Flugzeuge in ihrer Flotte – wie die A320neo mit hocheffizientem PW1100G-JM-Antrieb.

---

Seite 8

**COVERSTORY**

## Wie funktioniert ein Turbofan-Triebwerk?

Moderne Luftfahrtantriebe sind technologische Produkte der Extraklasse, die extremen Anforderungen standhalten müssen. Doch wie funktioniert eigentlich ein Triebwerk?

---

Seite 18

**INNOVATION**

## Die Integrationsfrage

Unbemannte Drohnen und Flugtaxis stehen in den Startlöchern, den Himmel zu bevölkern. Die dafür nötigen neuen Konzepte für das Luftverkehrsmanagement werden langfristig auch große Auswirkungen auf den klassischen Flugverkehr haben.

---

Seite 22

## CONTENTS

**FACTS**

- 6 **Jubiläum** 50 Jahre CF6
- 6 **V2500 Triebwerk** Mehr als 250 Millionen Flugstunden
- 6 **Abschied** Tschüss, Engel der Lüfte!
- 7 **Zukunft** Starker Antrieb für die Zukunft
- 7 **Kurz erklärt** Was bedeutet eigentlich „Bypass-Ratio“?

**COVERSTORY**

- 8 **Im Aufwind** Der Markt für Kurz- und Mittelstreckenjets erholt sich als erster von der Krise.
- 14 **Geballte Power beim Getriebefan** Mehrere MTU-Standorte liefern wertvolles Know-how und Erfahrung für den erfolgreichen GTF-Antrieb.
- 18 **Wie funktioniert ein Turbofan-Triebwerk?** Moderne Luftfahrtantriebe sind Hochleistungsmaschinen, die extremen Anforderungen standhalten müssen.

**INNOVATION**

- 22 **Die Integrationsfrage** Unbemannte Drohnen, Flugtaxis und andere neue Luftverkehrsteilnehmer erfordern neuartige Konzepte für das Luftverkehrsmanagement.
- 28 **Ohne geht's nicht** Um mit Wasserstoff emissionsfrei fliegen zu können, muss der Aufbau einer Wasserstoff-Infrastruktur vorangetrieben werden.
- 32 **Weniger ist mehr** Wasserdampf aus Brennstoffzellen und Wasserstoffverbrennung in Triebwerken können auf das Klima wirken – die MTU arbeitet daran, mögliche Effekte zu minimieren.
- 36 **Auf digitaler Mission** Triebwerksbusiness 4.0: Die MTU treibt ihren digitalen Wandel voran.

**AVIATION**

- 48 **Erfolgjahr bei der MTU Maintenance** Das Jahr 2021 kann sich bei der MTU Maintenance sehen lassen.

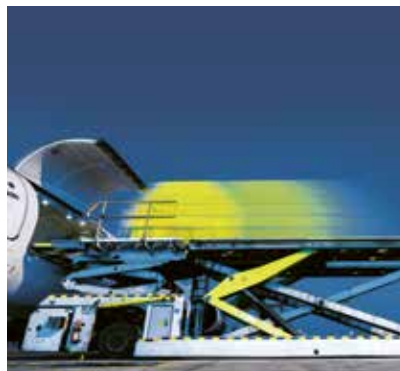


#### INNOVATION

### Auf digitaler Mission

Digitaler Schub für die MTU: KI und Big Data öffnen im Hightech Triebwerksgeschäft ganz neue Türen – und das quer durchs Unternehmen. Wie die MTU Aero Engines den digitalen Wandel vorantreibt, stellen wir in ausgewählten IT-Projekten vor.

Seite 36



#### AVIATION

### Die weltweit schnellsten Paketboten

Die Luftfrachtbranche profitiert in der Krise. Für hohes Wachstum sorgt der Online-Handel. Um Waren noch schneller liefern zu können, sind vermehrt auch kleinere Jets der Kurz- und Mittelstrecke im Frachteininsatz.

Seite 52



#### GOOD TO KNOW

### To-do-Listen – der Sicherheit zuliebe

Der Einsatz von Preflight-Checklisten bei der Flugvorbereitung ist obligatorisch. Er dient zur Einhaltung fester Routinen, wenn es darum geht, alle funktions- und sicherheitsrelevanten Faktoren im Cockpit, Kabinen- und Außenbereich zu überprüfen.

Seite 60

52 **Die weltweit schnellsten Paketboten** Luftfracht im Steigflug: Neben Großraummaschinen sind zunehmend auch kleinere Jets der Kurz- und Mittelstrecke im Einsatz.

#### PEOPLE

56 **Fernglas in neue Welten** MTU-CIO Dr. Lutz Seidenfaden spricht über Big Data, KI und Automatisierung bei der MTU Aero Engines.

#### GOOD TO KNOW

60 **To-do-Listen – der Sicherheit zuliebe** Ziel aller planmäßigen Flugvorbereitungen sind Sicherheit und Schutz aller Passagiere und Besatzungsmitglieder an Bord.

64 **Kurz erklärt: Sustainable Aviation Fuels** SAFs haben das Potential, die Klimawirkung signifikant zu reduzieren.

64 **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.

## ABSCHIED

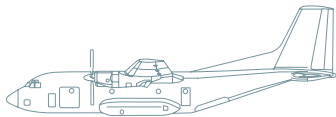
## Tschüss, Engel der Lüfte!

Nach über 50 Jahren geht die Zeit für die Transall C-160 zu Ende



Der Militärtransporter fliegt in den Ruhestand – und mit ihm das Tyne-Triebwerk. Erflogene Stunden des Zweiwellentriebwerks mit seinem Planetengetriebe zwischen Propeller und Verdichter: 2,172 Millionen bis Jahresende 2020.

## TRANSALL



LÄNGE	32,40 m
HÖHE	12,36 m
SPANNWEITE	40 m
FLÜGELFLÄCHE	160 m <sup>2</sup>
LEERGEWICHT	28,500 t
REISEGESCHWINDIGKEIT	455 km/h
REICHWEITE MIT 14 TONNEN NUTZLAST	ca. 1.200 km
REICHWEITE MIT 5 TONNEN ZULADUNG	ca. 3.800 km
TRIEBWERK:	TYNE

**MEHR ZUR TRANSALL UND IHREM ERFOLGREICHEN TYNE-TRIEBWERK:**

Die Transall fliegt in den Ruhestand  
[www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)



## JUBILÄUM

## 50 Jahre CF6



*Die MTU fertigt für das CF6 Teile der Turbine und des Verdichters.*

Mit mehr als 8.500 ausgelieferten Exemplaren ist das CF6 das erfolgreichste GE-Triebwerksprogramm für Großraumverkehrsflugzeuge.

Das CF6 war das erste Triebwerk der MTU für die zivile Luftfahrt und ist seit Jahrzehnten ein Eckpfeiler ihres Erfolgs.

Die Triebwerksfamilie umfasst fünf Modelle – das CF6-6, CF6-50, CF6-80A /C und /E – und hat seit 1971 mehr als 460 Millionen Flugstunden absolviert.

Die MTU Maintenance betreut das zuverlässige Arbeitspferd seit fast 40 Jahren.

Die MTU Maintenance hat über 4.000 Instandsetzungen für die Modelle CF6-50 und CF6-80C2 durchgeführt.

**Das CF6:**

*Ein Zweiwellen-Zweistromtriebwerk für Mittel- und Langstrecken-Großraumflugzeuge.*



*Die V2500-Triebwerksfamilie bietet bis zu 33.000 Pfund Schub.*

**V2500 TRIEBWERK**

Mehr als  
**250 Mio.**  
 Flugstunden

Mehr als 250 Millionen Flugstunden kann die V2500 mittlerweile vorweisen. Das vom Triebwerkskonsortium International Aero Engines AG (IAE) hergestellte Turbofan-Triebwerk treibt die Airbus A320neo-Familie und den brasilianischen Militärtransporter Embraer C-390 an. 1987 hob der Antrieb mit der A320 zum ersten Mal ab.

## ZUKUNFT

## Starker Antrieb für die Zukunft



**MTU Aero Engines wird gemeinsam mit ihrem französischen Partner Safran Aircraft Engines und dem spanischen Partner ITP das Herzstück des neuen europäischen Kampfflugzeuges entwickeln: das Next European Fighter Engine (NEFE).**

Im Rahmen des Joint Ventures EUMET wird Safran Aircraft Engines die Auslegung und Integration des Triebwerks leiten und die MTU Aero Engines alle Instandsetzungs- und Serviceaktivitäten. Als Hauptpartner von EUMET wird ITP Aero voll in die Auslegung des Triebwerks eingebunden sein und neben anderen Komponenten die Niederdruckturbinen und die Schubdüse (Nozzle) entwickeln.



**Future Combat Air System** — Ein Verband bemannter und unbemannter Flugsysteme soll zukünftig den deutschen und europäischen Luftraum schützen.

Die Anforderungen an das Kampfflugzeug der nächsten Generation erfordern in der Triebwerkstechnologie innovative und fortschrittliche Werkzeuge, Verfahren und Werkstoffe. Und auch das Triebwerkskonzept an sich will die MTU entscheidend optimieren: Beim „Variable Cycle Engine“ (VCE) sorgt ein variabler Kreisprozess für erhöhte Missionsflexibilität, niedrigen Kraftstoffverbrauch und maximalen Schub.

### Hightech-Technologie

Die MTU setzt beim NEFE auf einen variablen Kreisprozess, der den Verbrauch deutlich reduziert und die Missionsflexibilität erhöht.



### Klare Anforderungen

Mehr Durchsetzungskraft, mehr Flexibilität, weniger Verbrauch: Das Kampfflugzeug der nächsten Generation muss maximale Leistung in Extremsituationen bieten.

Ein starker Antrieb für ein starkes Kampfflugzeug  
[www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)



### KURZ ERKLÄRT

## Was bedeutet eigentlich „Bypass-Ratio“?

In modernen Turbofan-Triebwerken treibt das Kerntriebwerk einen Fan an, welcher Luft am Kerntriebwerk vorbei im Nebenstrom beschleunigt. Das Verhältnis aus Nebenstrom und der Luft, die durch das Kerntriebwerk geleitet wird, nennt man Bypass-Ratio – im Deutschen „Nebenstromverhältnis“.

Ein Triebwerk ist dann effizient, wenn es viel Luftmasse, also große Nebenstromverhältnisse, bei möglichst kleiner Geschwindigkeitsdifferenz zur Fluggeschwindigkeit bewegt. Und das senkt wiederum Kraftstoffverbrauch und Emissionen, inklusive Lärm.

### Ultra High Bypass Ratio für die Zukunft

Seit den 1960er Jahren sind die Werte von anfangs 2:1 über 6:1 für den Triebwerksklassiker V2500 aus den 1980ern bis zum bisherigen Rekordwert von 12:1 für den aktuellen Getriebefan gestiegen. Bei der Weiterentwicklung des GTF-Antriebs wird ein Nebenstromverhältnis jenseits von 12:1 angestrebt. Experten sprechen dann von einer Ultra High Bypass Ratio (UHBR).

### EINSPARUNGEN DURCH GTF-TRIEBWERKE



**5 Mio. t CO<sub>2</sub>**  
reduziert



**2 Mrd. Liter**  
Treibstoff gespart

**Auf mehr als 2,5 Millionen Flügen von mehr als 1.000 Flugzeugen haben GTF-Triebwerke bisher mehr als eine halbe Milliarde Gallonen (fast zwei Milliarden Liter) Treibstoff eingespart und mehr als fünf Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen vermieden.**

Quelle: Pratt & Whitney, Stand: 7/2021



**Das Neueste an Bord** — Airlines bevorzugen Flugzeugmodelle mit der modernsten Triebwerkstechnologie. Bei den Narrowbodies ist das vor allem der Airbus A320neo mit dem PW1100G-JM als Antrieb, der zur erfolgreichen Pratt & Whitney GTF™ Triebwerksfamilie gehört.



# Im Aufwind

*Der Markt für Kurz- und Mittelstreckenjets erholt sich als erster von der Krise. Viele Airlines schicken bevorzugt ihre aktuellste Flotte mit hocheffizienten Triebwerken auf die Reise.*

**Autorin:** Nicole Geffert

## WIDEBODIES VS. NARROWBODIES UND REGIONAL JETS



Sitze in der  
Standardbestuhlung

Widebody: 240 - 650

Narrowbody: 100 - 240

Regional Jet: 70 - 100



Reichweite in  
Nautischen Meilen

Widebody:  
5.000 - 8.500

Narrowbody:  
3.000 - 4.700

Regional Jet:  
1.000 - 2.500

Ein Blick in den wolkenlosen Himmel zeigt: Da glänzt ein Flugzeug in der Sonne und kurz darauf folgt ihm ein zweites. Sofort stellt es sich ein: das Gefühl von Fernweh. Endlich wieder abheben und verreisen. Diese Sehnsucht spüren auch andere Menschen. Und in der Tat: Es wird wieder mehr geflogen – geschäftlich im Inland oder privat in den Urlaub beispielsweise. Die Luftfahrtbranche beginnt, sich von der Covid-19-Krise zu erholen.

„Wir beobachten, dass sich in der Krise der Markt der Kurz- und Mittelstreckenjets, der so genannten Narrowbodies, als der Markt herauskristallisiert hat, der sich am schnellsten erholt“, sagt Marko Niffka, Experte für Business Development – MRO bei der MTU Aero Engines. Laut Marktanalysen steigt als erstes wieder die Nachfrage nach Inlands- und Urlaubsflügen. Das ist genau der Markt, den vor allem Narrowbody-Jets bedienen.

### Neueste Triebwerkstechnologie an Bord

Und es zeigt sich ein weiterer Trend: Treibstoffeffizienz und die häufig an staatliche Unterstützung gebundenen Vorhaben, klimafreundlicher zu fliegen, lassen die Airlines bevorzugt auf moderne Flugzeugmodelle in ihrer Flotte zurückgreifen, die

die neueste Triebwerkstechnologie an Bord haben. Bei den Narrowbodies ist das vor allem der Airbus A320neo mit dem PW1100G-JM als Antrieb, der zur Pratt & Whitney GTF™ Triebwerksfamilie gehört. „Es gibt eine klare Präferenz für die moderne Flotte“, sagt Dr. Marc Le Dilosquer, Marktexperte der MTU. „Die Airlines haben vor allem die operativen Kosten im Blick. Hier haben neue Flugzeugmodelle mit hocheffizienten Triebwerken die Nase vorn. Der niedrigere Treibstoffverbrauch sowie die geringeren Instandhaltungskosten der neuen Flugzeuge machen den Unterschied und sind Haupttreiber dafür, dass die Airlines bevorzugt diese Flugzeuge auf die Reise schicken und ältere Modelle vorerst weniger als vor der Krise einsetzen und öfter am Boden lassen.“

### Steigende Produktionsrate der A320-Familie

Der Flugzeughersteller Airbus geht davon aus, dass sich der Markt für Verkehrsflugzeuge zwischen 2023 und 2025 wieder auf das Niveau von vor Covid-19 erholen wird – angeführt vom Single-Aisle-Segment, also den Flugzeugen mit einem Gang und fünf bis sechs Sitzen pro Reihe. Für seine A320-Familie beispielsweise bestätigte Air-



bus im Mai 2021 eine durchschnittliche Produktionsrate von 45 Flugzeugen pro Monat im vierten Quartal 2021 und forderte seine Zulieferer auf, sich auf die Zukunft vorzubereiten und eine feste Rate von 64 Flugzeugen bis zum zweiten Quartal 2023 zu sichern. In Erwartung eines sich weiter erholenden Marktes rechnet Airbus mit einer Rate von 70 Maschinen bis zum ersten Quartal 2024 und prüft Möglichkeiten für Raten von bis zu 75 Flugzeugen bis 2025.

### Narrowbodies auf der Langstrecke

Die Branche spürt den Aufwind. Zudem reagieren Airlines flexibel auf die aktuelle Situation. „Oberstes Gebot ist Wirtschaftlichkeit und Effizienz. In einer Zeit, in der weniger Passagiere einchecken, entscheiden sich Airlines auch bei längeren Strecken eher für kleinere Flugzeuge mit geringerer Kapazität“, sagt Bernhard Köppel, Experte für Flugphysik und Betriebskostenanalyse bei der MTU. „Diese sind günstiger zu betreiben und reduzieren das wirtschaftliche Risiko für die Airline.“

Setzt man Single-Aisles auf Mittel- und kürzeren Langstrecken ein, die bisher von Widebodies bedient wurden, bedeutet das eine enorme Kosten-

einsparung. „Widebodies haben typischerweise bis zu 50 Prozent höhere Kosten pro Flug, Trip Cost genannt. Sie rentieren sich erst dann wieder, wenn es die entsprechende Nachfrage gibt, die vorhandenen Sitzplätze weitgehend auszulasten“, verdeutlicht Köppel.

### Mehr Reichweite, geringere Kapazität

Airbus hat auf den aktuellen Bedarf reagiert und die Langstreckenmodelle A321LR (Long Range) und A321XLR (Xtra Long Range) entwickelt. Mit zusätzlichen Treibstofftanks und der Erhöhung des Abfluggewichts vergrößert sich die Reichweite des Basismodells A321neo von 6.850 Kilometer auf 7.400 Kilometer (A321LR) sowie 8.700 Kilometer (A321XLR). Boeing hat derzeit kein vergleichbares, wettbewerbsfähiges Modell aus der 737-MAX-Familie im Angebot.

Mit den neuen Langstreckenmodellen von Airbus werden Verbindungen beispielsweise zwischen West-Europa und Ostküste der USA, Europa und Indien, Australien und Südostasien oder Naher Osten und Südafrika möglich. Dabei können auch kleinere Flughäfen genutzt werden. Und ausreichend Power ist auch vorhanden. „Das PW1100G-JM

Die Einsparungen der GTF™ Triebwerksfamilie gegenüber der Vorgängergeneration sind beeindruckend:

Verkleinerung  
Lärmteppich

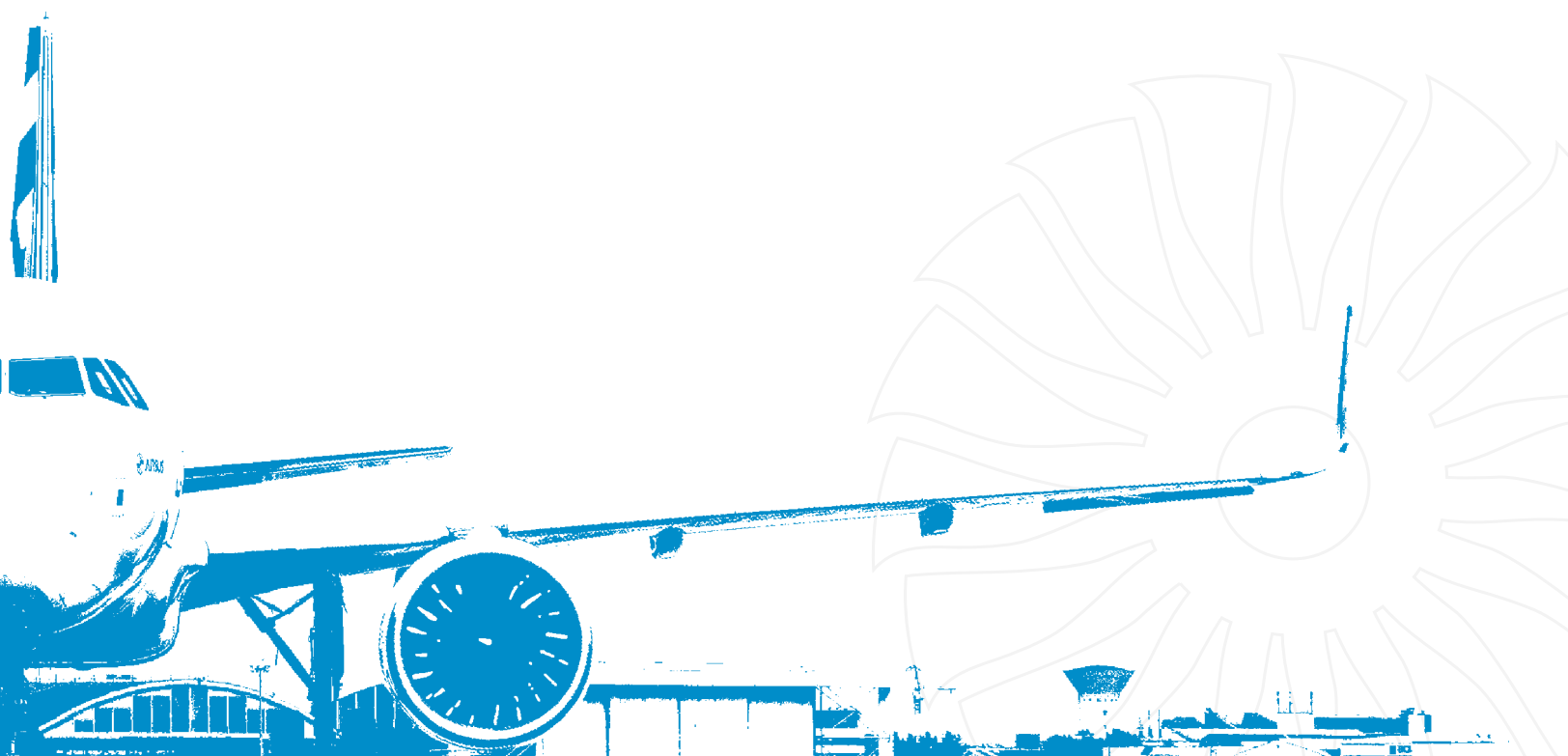
**-75%**

Senkung  
CO<sub>2</sub>-Ausstoß

**-16%**

Senkung  
Treibstoffverbrauch

**-16%**





**GTF™ Triebwerksfamilie**

*Die neuen Triebwerke bieten Verbesserungen im  
zweistelligen Prozentbereich bei Kraftstoffverbrauch,  
Schadstoff- und Lärmemissionen sowie Betriebskosten.*

Triebwerk liefert bereits genügend Schub, um auch die beiden neuen Modelle sicher in die Luft zu bringen“, so der Experte.

Auch die US-amerikanische Fluggesellschaft JetBlue, Kunde der MTU Maintenance, hat ihre Flotte verstärkt und im April 2021 ihren ersten A321LR mit PW1100G-JM-Triebwerken übernommen. Im April 2019 hatte JetBlue 13 Flugzeuge seiner bestehenden A321-Aufträge in die LR-Version sowie 13 weitere Maschinen in die XLR-Version umgewandelt. Damit kann die Airline erstmals mit Transatlantikflügen zwischen den USA und London durchstarten und ihren Kunden neue Routen eröffnen. Auf diese Weise verschafft sich JetBlue Zugang zu einem Markt, der ihr mit ihrer bisherigen Flotte nicht zugänglich war. Die höhere Reichweite der A321LR macht es möglich.

### Erfolgreiche Position der MTU

Bereits mit der ersten Generation des GTF-Antriebs haben Airlines auf ihren Flügen bis heute mehr als fünf Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart. Gegenüber der Vorgängergeneration senkt das PW1100G-JM den Treibstoffverbrauch und den damit einhergehenden Kohlenstoffdioxidausstoß um etwa 16 Prozent und verringert den Lärmteppich am Boden während der Startphase um etwa 75 Prozent. Auch bei den NO<sub>x</sub>-Emissionen kann das neue Triebwerk deutliche Verbesserungen aufweisen: Sie sind um 50 Prozent geringer als beim Vorgängermodell.

An der GTF™ Triebwerksfamilie von P&W ist die MTU neben der Entwicklung und Fertigung auch in der Instandhaltung beteiligt. „In der aktuellen Situation hat die Positionierung der MTU besondere Vorteile“, sagt Niffka. „Wir haben einen starken Fokus auf Narrowbody-Triebwerke und profitieren vom GTF-Markterfolg. Sowohl im OEM- als auch im MRO-Bereich sind wir als Partner für Airlines und P&W bestens aufgestellt.“ Zum einen ist die MTU zuverlässiger Partner im weltweiten PW1100G-JM-Netzwerk für MRO-Dienstleistungen. Über dieses Netzwerk haben Kunden Zugang zu Instandhaltungsbetrieben, sogenannten Shops, die über Erfahrung, Know-how und Kapazitäten verfügen sowie qualitativ hochwertige Leistungen anbieten.

Gleich drei Standorte im MTU-Verbund sind Teil dieses Netzwerks und verfügen über die vollen Demontage-, Montage- und Testkapazitäten für PW1100G-JM-Triebwerke: Die MTU Maintenance Hannover ist seit 2016 in der Instandhaltung für das PW1100G-JM im Einsatz. EME Aero, das MRO-Joint-Venture von Lufthansa Technik und der MTU im polnischen Jasionka, stieg 2020 in die Instandhaltung ein. Die MTU Maintenance Zhuhai ist jüngster Partner im globalen MRO-Netzwerk des PW1100G-JM und baut dafür einen weiteren Standort auf. „Die MTU hatte sich mit der V2500, eines der erfolgreichsten Narrowbody-Triebwerke, eine erfolgreiche Marktposition geschaffen, die es ihr ermöglicht, ein solch starker Partner auch im GTF-Netzwerk zu werden und besten Support zu bieten“, erläutert Niffka.




**A320neo** — Das Flugzeug zeichnet sich durch neue Triebwerke und eine verbesserte Aerodynamik aus. Der Zusatz „neo“ steht für „New Engine Option“.



**Viel Platz** — Die Airbus A320-Familie bietet die breiteste 1-Gang-Kabine auf dem Markt. In ihren Flugzeugen haben je nach Modell zwischen 100 und 240 Passagiere Platz.

### Flexibel in jede Richtung

Zudem ist die MTU Maintenance als unabhängiger Instandhaltungsdienstleister eine weltweite Größe – vor allem auf dem Narrowbody-Markt. Das liegt vor allem an den umfassenden Serviceleistungen, die den gesamten Lebenszyklus von Triebwerken abdecken und auf spezifische Kundenanforderungen abgestimmt sind. Zudem kann die MTU ihren Kunden MRO-Leistungen an Standorten weltweit anbieten. Niffka: „Airlines wünschen mehr Flexibilität, und wir können diese Flexibilität in jede Richtung anbieten – als unabhängiger MRO-Dienstleister ebenso wie als Teil des erfolgreichen OEM-Netzwerks für das PW1100G-JM.“ 

### AUTORIN:



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



# Geballte Power beim Getriebefan

*Auf der ganzen Welt sind MTU-Standorte am erfolgreichen GTF-Antrieb beteiligt.  
Jeder Standort bringt dabei seine ganz eigenen Stärken ein.*

**Autorin:** Isabel Henrich



**Rundum-Service** — Neben der Entwicklung und Fertigung von Hightech-Komponenten wie der schnelllaufenden Niederdruckturbinen, bietet die MTU den vollen Umfang an Demontage, Montage und Tests für den PW1100G-JM Antrieb.

In nur 18 Monaten vom Bau auf der grünen Wiese zu einem der weltweit modernsten und größten Shops für die Pratt & Whitney GTF™ Triebwerksfamilie – die Entwicklung von EME Aero ist beeindruckend. Und der Hochlauf dauert an: Im August 2021 erfolgte bereits die Einführung des zweiten GTF-Familienmitglieds PW1500G.

EME Aero ist nur einer von mehreren Standorten, die mit ihrer Entwicklungs-, Fertigungs- und Instandhaltungskompetenz einen entscheidenden Beitrag zum GTF-Triebwerksprogramm leisten.

Je nach Anwendung beträgt der MTU-Anteil an der GTF™ Triebwerksfamilie zwischen 15 und 18 Prozent und umfasst neben der Verantwortung für die schnelllaufende Niederdruckturbinen und die ersten vier Stufen des Hochdruckverdichters auch die Fertigung von Bürstendichtungen und Nickel-Blisks für Bauteile des Hochdruckverdichters, die nicht in der Design-Verantwortung der MTU liegen. Zudem verantwortet die MTU die Endmontage eines Drittels der Serien-PW1100G-JM für die A320neo. Entwicklungsarbeiten an wichtigen GTF-Komponenten werden bei der MTU in München, in Rzeszów sowie bei der MTU Aero Engines North America durchgeführt.

Die MTU Maintenance kann mehr als 40 Jahre Erfahrung und Know-how im Independent-MRO-Geschäft vorweisen und profitiert dabei von einem breiten Triebwerksportfolio. Besonders beim Erfolgsantrieb PW1100G-JM, der im Airbus A320neo zum Einsatz kommt, ist die MTU bestens aufgestellt. So werden bei der MTU Maintenance Berlin-Brandenburg einzelne Stufen des Hochdruckverdichters und der Niederdruckturbinen instandgesetzt. Die MTU Maintenance Zhuhai, EME Aero in Polen und die MTU Maintenance Hannover verfügen über die vollen Demontage-, Montage- und Testkapazitäten für diesen Triebwerkstyp. Und bei der MTU Aero Engines in München und der MTU Aero Engines Polska werden neben der Fertigung von GTF-Komponenten auch Teilerparaturen am PW1100G-JM durchgeführt.

Die über mehrere Standorte verteilten Kompetenzen haben einen besonderen Vorteil: Jeder Standort bringt seine ganz eigenen Stärken mit, wodurch die MTU ihren Kunden und Partnern den bestmöglichen Service bieten kann. Wir stellen sechs Standorte und ihren Beitrag zum erfolgreichen Getriebefantrieb vor:



01

**01 — PW1100G-JM Endmontage** — Am Standort München werden seit 2016 ein Drittel aller Serien-PW1100G-JM endmontiert.

**02 — GTF-Spezialist:innen** — EME Aero hat sich als einer der weltweiten größten MRO-Shops für die GTF-Familie auf den modernen Antrieb spezialisiert.



02

## MTU Aero Engines, München

Im Technologie-Hub der MTU Aero Engines entstanden bereits vor über 20 Jahren zusammen mit dem Partner Pratt & Whitney die ersten Ideen für einen Getriebefanantrieb. Heute stellt die MTU in München die schnelllaufende Niederdruckturbinen, mehrere Stufen des Hochdruckverdichters in Blistk-Bauweise sowie selbst entwickelte Bürstendichtungen aller GTF-Triebwerksfamilienmitglieder her. Neben der Durchführung von Teilreparaturen werden am Standort seit 2016 auch ein Drittel der Serien-PW1100G-JM endmontiert. Extra dafür entwarf ein MTU-Projektteam ein bodengeführtes Montagesystem mit 16 ferngesteuerten Wagen, die sich, je nach Montagefortschritt passend gekoppelt, fließbandähnlich entlang der Montagelinie bewegen.

**Die nächste Generation im Blick** — Die Ingenieur:innen in München arbeiten bereits intensiv an einer Weiterentwicklung des GTF-Antriebes. Noch kraftstoffsparender, leiser und effizienter soll die zweite Generation werden: Die schnelllaufende Niederdruckturbinen wird weiter optimiert und mit neuen Verfahren und Werkstoffen das Optimum aus der Getriebefan-Technologie herausgeholt. Ab Anfang der nächsten Dekade soll die zweite GTF-Generation in der Luft sein.

## MTU Aero Engines Polska

Fast von Beginn an ist die MTU Aero Engines Polska beim GTF mit dabei. Dabei liefert der Standort in Rzeszów für fünf der sechs Anwendungen hochwertige Komponenten. Der Standort unterstützt das GTF-Programm in verschiedenen Phasen der Triebwerksproduktion, von der Entwicklung bis hin zur Serienproduktion. Im Juli 2021 waren 522 Mitarbeiter:innen – das entspricht mehr als 60 Prozent der Beschäftigten – in GTF-Projekten eingebunden.

**Produktionshochlauf beim GTF** — Die MTU Aero Engines Polska kann beeindruckende Zahlen vorweisen: 2015 begannen

die Ingenieur:innen in Rzeszów mit der Montage der ersten Niederdruckturbinen für das PW1100G-JM, dem Antrieb des Airbus A320neo. Sechs Jahr später führte der Standort nun bereits die 2.500 Montage dieses Moduls durch. Insgesamt wurden bis 2021 fast 800.000 GTF-Teile geliefert, davon über 600.000 für das PW1100G-JM-Modell.

## MTU Maintenance Hannover

Der MTU-Standort in Langenhagen ist als Herzstück der Maintenance-Gruppe und als der erste Instandhaltungsbetrieb der MTU für MRO-Dienstleistungen auch beim GTF-Antrieb unverzichtbar. Langjährige Expertise und ein vielfältiges Know-how durch diverse Triebwerksprogramme (u.a. V2500, GE90, CF6) bringen notwendige MRO-Erfahrung und Kompetenzen mit. Die MTU Maintenance Hannover hat die vollen Kapazitäten für Demontage, Montage und Tests für den PW1100G-JM Antrieb.

**Von null auf hundert** — Innerhalb kürzester Zeit mussten sich die Triebwerksexpert:innen in Hannover auf das PW1100G-JM vorbereiten. Kein Problem für das Team: Durch die langjährige MRO-Erfahrung war man von null auf hundert für das neue Triebwerksprogramm bereit. Tatkräftige Unterstützung kam aus Ludwigsfelde: Ein Team der MTU Maintenance Berlin-Brandenburg übermittelte in einem PW1100G-JM „Crashkurs“ wertvolles GTF-Know-how.

## MTU Maintenance Zhuhai

Das Joint Venture zwischen der MTU und China Southern Airlines Company Limited ist das neueste Mitglied im GTF-Netzwerk der MTU. Im September 2021 durchlief das erste PW1100G-JM den Shop – geplant sind 1.000 Shop Visits in den kommenden 10 Jahren. Ein zweiter Standort befindet sich bereits im Bau, in dessen Shop sich vor allem auf Narrowbody-Triebwerke von Pratt &





**03 — Volle Kompetenzen** — Hannover ist einer von drei Standorten, der volle Kapazitäten für Demontage, Montage und Tests beim PW1100G-JM hat.

**04 — Prüfender Blick** — Mit Ihrer Expertise sorgen die Profis der MTU bei den GTF-Antrieben stets für höchste Qualität.



Whitney spezialisiert werden soll. Er wird über eine Testzelle mit 65.000 Pfund Schub verfügen und soll in 2024 in Betrieb gehen. Wie in Hannover und bei EME Aero verfügt der Standort in Zhuhai über die volle Ausstattung für (De-)Montage und Tests für die PW1100G-JM-Antriebe.

**Feste Größe** — Als größter MRO-Anbieter für Narrowbody-Triebwerke in ganz Asien hat sich die MTU Maintenance Zhuhai in der Region einen Namen gemacht. Mit der Aufnahme des PW1100G-JM-Antriebes in sein Portfolio setzt der Standort seine Wachstumsstrategie fort und kann nun auch bei der neuesten Triebwerksgeneration als Narrowbody-Experte in dieser Region exzellenten Service für seine Kunden bieten.


## EME Aero

Als einer der weltweit größten MRO-Shops für die GTF-Triebwerksfamilie bildet das Joint Venture zwischen der MTU und Lufthansa Technik das Herzstück des GTF-Netzwerks der MTU. Seit Januar 2020 werden dort PW1100G-JM-Triebwerke instandgesetzt, im August 2021 folgte das PW1500G und bald soll das PW1900G dazustoßen. Passend zur derzeit modernsten und effizientesten Triebwerksfamilie, die es auf dem Markt gibt, hat EME Aero einen hochmodernen MRO-Shop errichtet, der Instandsetzungen auf höchstem Niveau sicherstellt. Mit geplanten 450 Shop Visits pro Jahr hat der Standort große Ambitionen und setzt auf schnelles Wachstum.

**Hightech pur** — Mit einer eigens für den Standort entworfenen Flowline besitzt EME Aero weltweit eines der modernsten Montagesysteme in der Triebwerksinstandhaltung. Spezialist:innen vom Produktions- und Anlagenservice der MTU in München haben zusammen mit dem EME Aero-Team ein einheitliches Montage- und Tooling-Konzept für die verschiedenen Triebwerkstypen der GTF-Familie entwickelt.

## MTU Maintenance Berlin-Brandenburg

Von Anfang an dabei ist der MTU-Standort in Ludwigsfelde. Dort werden einzelne Stufen des Hochdruckverdichters und der Niederdruckturbine des PW1100G-JM instandgesetzt. Seit 2020 sind auch das PW1500G und das PW1900G hinzugestoßen. Die Repair-Spezialist:innen aus Ludwigsfelde sind bei der Niederdruckturbine und der zweiten Stufe der Hochdruckturbine die einzigen Anbieter für den vollen Reparaturumfang auf dem Weltmarkt.

**Ab der ersten Stunde** — Die ersten Reparaturvorrichtungen hatte der Standort bereits beschafft, während die Bewerbung als Reparaturstandort für GTF-Antriebe noch lief – eine nicht ganz risikofreie Strategie, die sich allerdings bewährt hat: Der proaktive Einsatz sicherte den Zuschlag für die Reparaturarbeiten und macht den Standort bis heute zu einem Experten von MRO-Dienstleistungen für die GTF-Familie. 

### WEITERE INFORMATIONEN ZUM THEMA "MONTAGEKONZEPT":

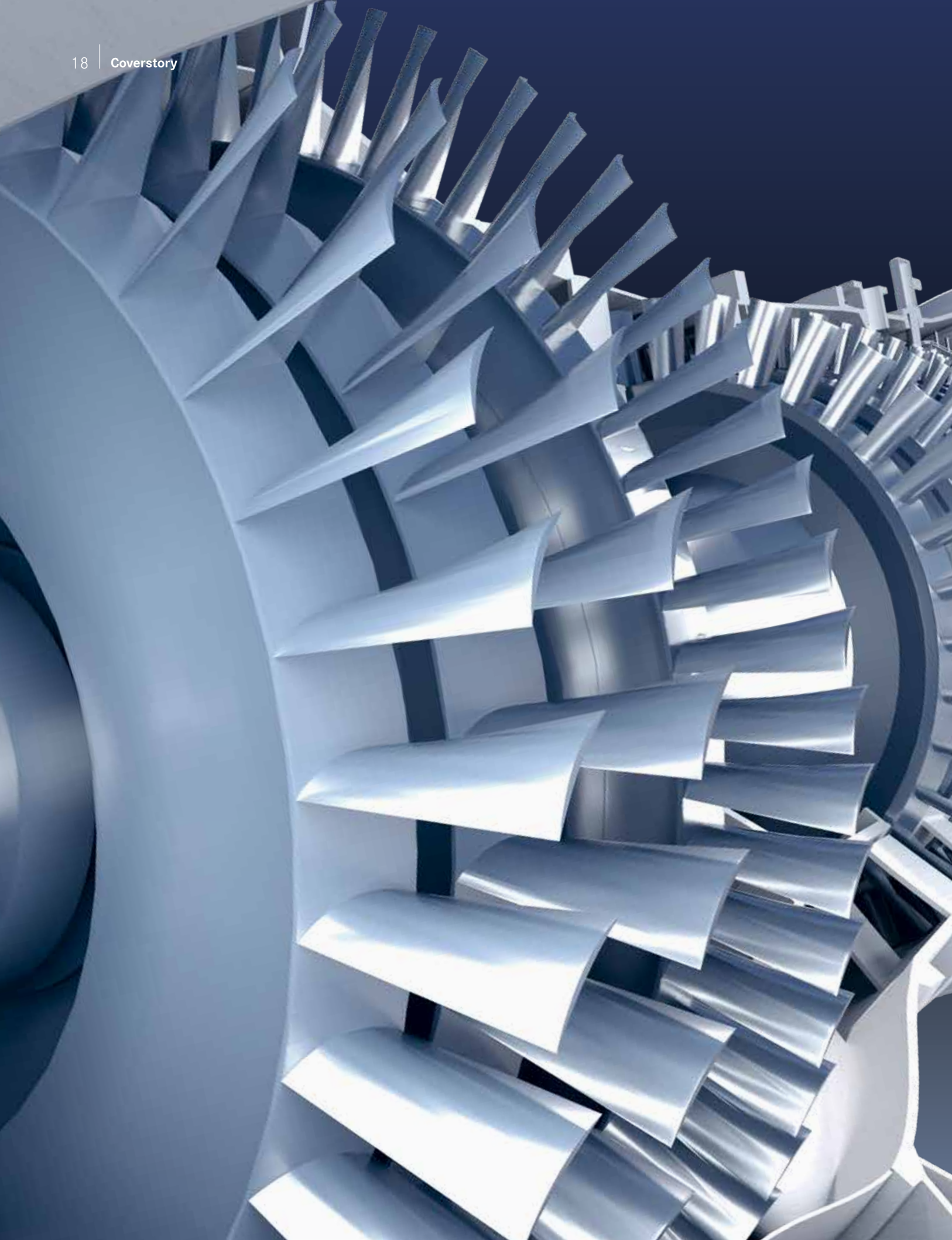
Innovatives Montagesystem für den MRO-Shop von EME Aero  
[www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)



### AUTORIN:



**Isabel Henrich** ist studierte Politologin und Kommunikationswissenschaftlerin. Bei der MTU steuert sie den redaktionellen Prozess des **AEROREPORTS** und ist zuständig für die Konzeption und Entwicklung der Inhalte.



# Wie funktioniert ein Turbofan-Triebwerk?

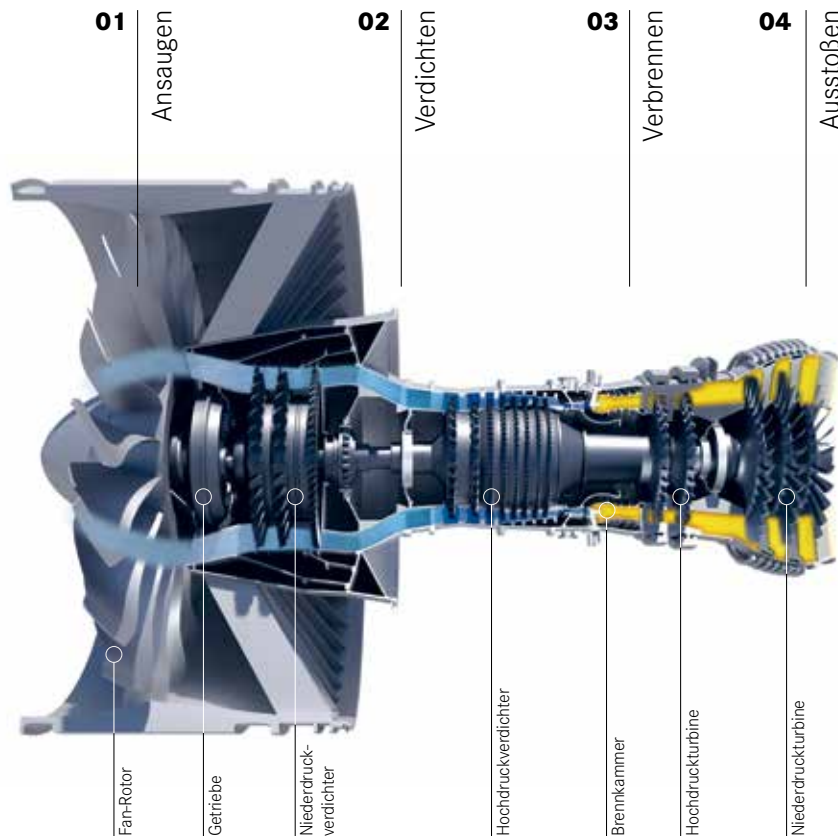
*Hightech bis ins kleinste Bauteil. Moderne Turbofan-Antriebe sind technologische Produkte der Extraklasse, die extremen Anforderungen standhalten müssen.*

**Autorin:** Isabel Henrich

Moderne Strahltriebwerke funktionieren nach dem Turbofan- oder Zweistrom-Prinzip. Dabei wird die vom Fan-Rotor angesaugte Luft hinter dem Fan geteilt. Nur ein kleiner Teil der Luft gelangt über Verdichterschaufeln in die Brennkammer und Turbinen, um damit den Fan anzutreiben. Der Großteil der Luft wird direkt vom Fan verdichtet und erzeugt in einer eigenen Düse mit geringer Beschleunigung den Hauptanteil des Schubes – bis zu 80 Prozent. Der Anteil der angesaugten Luft, der in den Triebwerkskern gelangt, wird im Nieder- und Hochdruckverdichter komprimiert und anschließend in die Brennkammer geleitet. Hier wird Kraftstoff eingespritzt und das so entstandene Brennstoff-Luftgemisch kontinuierlich verbrannt. Durch die Erhitzung dehnt sich das Gas auf ein vielfaches Volumen aus. Es entweicht mit hoher Energie aus der Brennkammer, schießt durch die Hoch- und Niederdruckturbine und versetzt sie in Drehbewegung. Gleichzeitig entsteht dabei die Energie für den Antrieb der Verdichter und des Fans. Eine Besonderheit weist das Getriebefan-Triebwerk auf: Ein Untersetzungsgetriebe entkoppelt den Fan und die Niederdruckwelle mit Niederdruckverdichter und der antreibenden Niederdruckturbine. Es erlaubt so allen Komponenten in ihrem jeweiligen Drehzahl optimum zu laufen. Das macht dieses Triebwerk besonders sparsam, leise und leicht. Mehr über die einzelnen Komponenten eines Getriebefan-Triebwerks erfahren Sie auf der nächsten Seite.



## AUFBAU UND FUNKTION EINES TURBOFAN-TRIEBWERKS:



**Leiser, sauberer, effizienter** — Der hier abgebildete Getriebefan aus der erfolgreichen Pratt & Whitney GTF™ Triebwerksfamilie gehört zu den modernsten Turbofan-Antrieben, die es momentan auf dem Markt gibt.

**01 Ansaugen** Der Fan-Rotor, das Schaufelrad an der Vorderseite, saugt Luft an. Während beim Turbojet-Triebwerk die gesamte angesaugte Luft nacheinander durch Verdichter, Brennkammer und Turbinen strömt, wird der beschleunigte Luftstrom beim Turbofan-Antrieb hinter dem Fan-Rotor geteilt. Auch hier gelangt eine bestimmte Menge Luft über Verdichterschaufeln in die Brennkammer. Der Rest, der sogenannte Mantelstrom, wird jedoch unverbrannt um die innen liegenden Baugruppen herumgeleitet und erzeugt durch Expansion in einer eigenen Düse den Großteil des Schubs – bis zu 80 Prozent. Dieser kalte Nebenstrom legt sich wie ein Mantel um die heißen Abgase aus dem Triebwerkskern und sorgt für eine Senkung der Geräuschemissionen.

**02 Verdichten** Der Anteil der angesaugten Luft, der in den Triebwerkskern gelangt, wird im nächsten Schritt im Nieder- und Hochdruckverdichter komprimiert. Der Niederdruckverdichter wird auch als Booster bezeichnet und hat die Aufgabe, eine Vorverdichtung zu übernehmen. Der Hochdruckverdichter übernimmt die Hauptverdichtung und weist durch die innovative Blisk-Bauweise – Scheibe und Schaufel bestehen aus einem Stück – einen sehr hohen Wirkungsgrad und geringes Gewicht auf.

**03 Verbrennen** Nach der Verdichtung strömt die Luft in die Brennkammer. Dort sorgen Kraftstoff-Einspritzdüsen für die Bildung eines Brennstoff-Luft-Gemischs, welches dann bei einer Temperatur von rund 1.700 Grad Celsius verbrennt. Durch die Erhitzung dehnt sich das Gas auf ein vielfaches Volumen aus und entweicht mit hoher Energie aus der Brennkammer.

**04 Ausstoßen** Das heiße Gas schießt durch die Hoch- und Niederdruckturbinen, welche jeweils aus mehreren Turbinenrädern mit einer Vielzahl von Schaufeln bestehen, die vom Abgasstrahl in Drehbewegung versetzt werden. Dieser verliert dabei bis zu 60 Prozent seiner Energie – sie wird benötigt, um den Booster, Verdichter und Fan anzutreiben: Das passiert über zwei ineinander gesteckte Wellen, wobei die äußere die Hochdruckturbinen mit dem Hochdruckverdichter koppelt, und die innere Welle die Niederdruckturbinen mit dem Booster und dem Fan verbindet. Dann erst verlassen die Verbrennungsgase die Schubdüse und erzeugen noch einen zusätzlichen Restschub.

## DIE WICHTIGSTEN KOMPONENTEN EINES TRIEBWERKS:



Fan-Rotor

Der Fan-Rotor ist das erste, besonders große Verdichterlaufrad. Seine Hauptaufgabe ist es, einen großen Massenstrom im Nebenstrom zu beschleunigen und damit den Hauptschub zu liefern. Angetrieben wird der Fan über die Niederdruckwelle von der Niederdruckturbinen. Der Fan des Getriebefan-Triebwerks ist für maximalen Luftdurchsatz optimiert.

### Schon gewusst?

Wenn die Fan-Schaufeln des Boeing 777 Antriebs GE90 zur MTU Maintenance kommen, dann ist das immer ein besonderer Anblick: Sie messen ganze 1,25 Meter und wiegen jeweils 25 Kilogramm.



Getriebe

Bei einem der modernsten Turbofan-Antriebe, dem Getriebefan, entkoppelt das Getriebe die beiden Komponenten Niederdruckturbinen und Fan, die bei herkömmlichen Antrieben auf einer Welle sitzen. Dadurch können sie in ihrem jeweiligen Optimum laufen - der Fan mit seinem großen Durchmesser langsamer, die im Durchmesser kleineren Niederdruckverdichter und Niederdruckturbinen erheblich schneller. Das Getriebe ist ein Planetengetriebe mit einem Untersetzungsverhältnis von 3:1 oder höher.

### Schon gewusst?

Mit ersten Voruntersuchungen für einen Getriebefan begannen Pratt & Whitney, die MTU und Fiat Avio bereits in den 1990er-Jahren.



Niederdruckverdichter

Die Aufgabe der Verdichter ist es, die Luft anzusaugen und zu komprimieren, bevor sie in die Brennkammer geleitet wird. Moderne Triebwerke besitzen einen Niederdruck- und einen Hochdruckverdichter. Der Niederdruckverdichter wird auch als Booster bezeichnet und hat die Aufgabe, eine Vorverdichtung zu übernehmen. Technologieentwicklungen zur Erweiterung des Betriebsbereichs und Schaufeln aus Verbundwerkstoffen zur Gewichtsreduktion werden weitere Verbesserungen liefern.

### Schon gewusst?

Der Niederdruckverdichter des ET200, der Antrieb des Eurofighters, ist der erste Verdichter überhaupt, der mit Blinks in den Serienbetrieb ging. Dafür entwickelte die MTU seinerzeit extra das lineare Reibschweißen.



Hochdruckverdichter

Der Hochdruckverdichter übernimmt die Hauptverdichtung und weist einen sehr hohen Wirkungsgrad auf. Das Besondere bei einem modernen Turbofan-Triebwerk: Schaufel und Scheibe bestehen aus einem Stück - sogenannte Blinks. Diese Hochtechnologie-Bauteile sind zum einen platzsparender und wiegen weniger als konventionelle Rotoren mit Einzelschaufeln, zum anderen ermöglichen sie eine bessere Schaufel-Aerodynamik und verringern obendrein auch noch den Montageaufwand.

### Schon gewusst?

Für die Blink-Fertigung errichtete die MTU an ihrem Standort in München eine eigens dafür konzipierte Halle. Dort fertigt die MTU jedes Jahr etwa 5.000 Blinks.



Brennkammer

In der Brennkammer wird die einströmende, verdichtete Luft mit Brennstoff vermischt und bei einer Temperatur von rund 1.700 Grad Celsius verbrannt. Zur Reduktion der Stickoxid-Emissionen befinden sich neue Brennkammerkonzepte mit Mager-Verbrennung in der Entwicklung; sie erfordern fortschrittliche Kühlkonzepte.

### Schon gewusst?

Die MTU entwickelte für den Brennkammereinsatz des T64-Antriebs, der beispielsweise im Transporthubschrauber Sikorsky CH-53G zum Einsatz kommt, eigens ein Reparaturverfahren per Laserschweißen. Dies wurde auch auf weitere Triebwerksprogramme adaptiert.



Hochdruckturbinen

In der Turbinen wird die Energie des Gasstroms, der mit hohem Druck und Temperatur aus der Brennkammer kommt, in mechanische Energie umgewandelt. Unterteilt ist die Turbinen in Hoch- und Niederdruckteil: Die Hochdruckturbinen treibt den Hochdruckverdichter an. Fortschrittliche Technologien wie z. B. neue Werkstoffe, neue Kühlkonzepte und Kühlluftkühlung helfen, die Effizienz des Triebwerks zukünftig weiter zu steigern.

### Schon gewusst?

Seit ihrem Programmstart 2005 fertigt die MTU Schaufeln für die Hochdruckturbinen der GP7000. Das zweistufige Design der Hochdruckturbinen beim Antrieb des Mega-Fliegers Airbus A380 basiert auf dem GE90 - dem Triebwerk für die Boeing 777.



Niederdruckturbinen

Die Niederdruckturbinen treibt den Niederdruckverdichter und den Fan an, der wiederum den Großteil des Schubs erzeugt. Die Niederdruckturbinen des GTF dreht im Vergleich zur Niederdruckturbinen eines konventionellen Turbofan-Triebwerks deutlich schneller. Dadurch kann die Stufenzahl und damit Baugröße und Gewicht wesentlich reduziert werden.

### Schon gewusst?

Für die schnelllaufende Niederdruckturbinen erhielt die MTU zwei deutsche Innovationspreise. Weltweit wird diese Technologie in der Serie nur von der MTU beherrscht.

### MEHR ZUM THEMA:

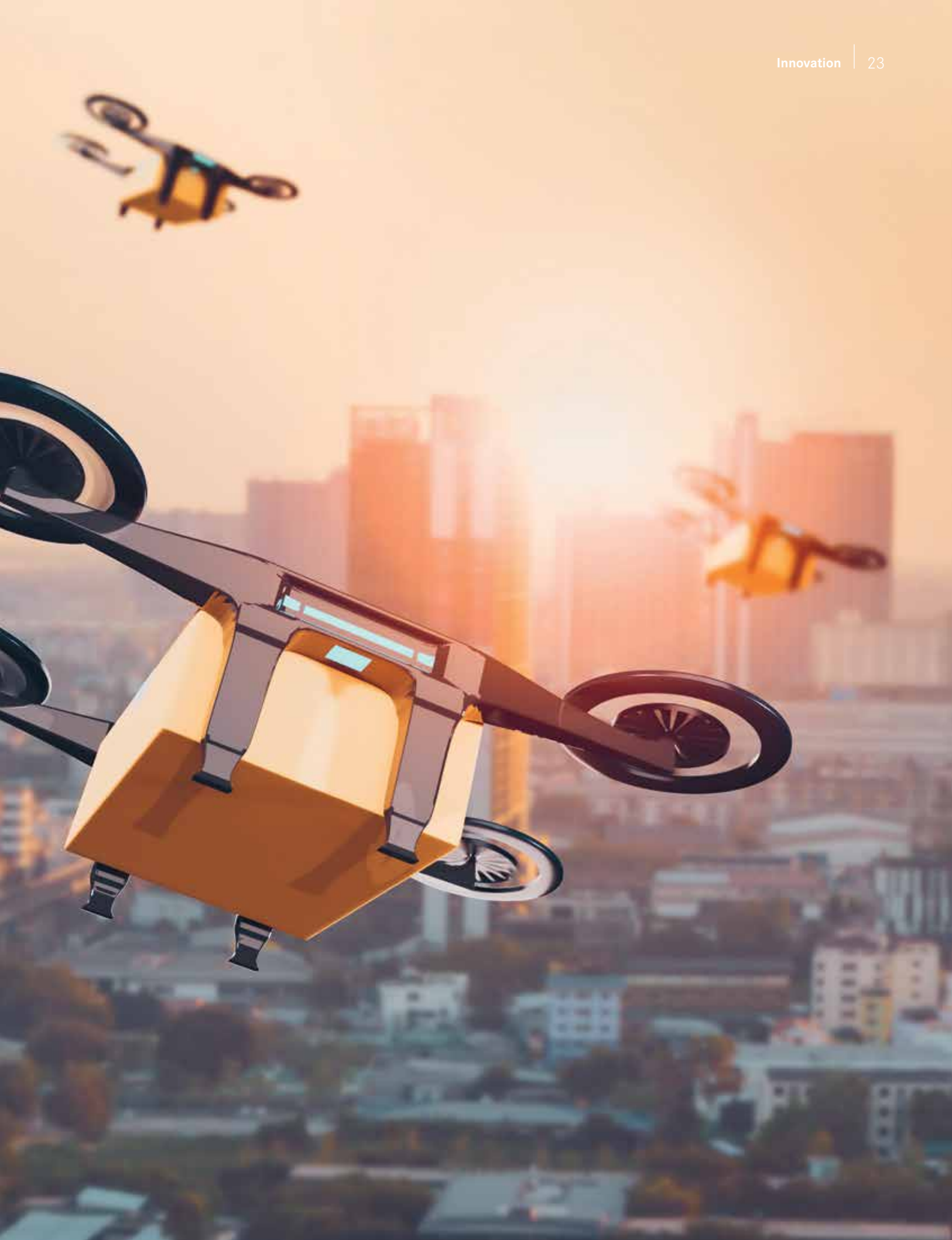
Link zum Video: Leiser, sauberer, effizienter. Wie funktioniert ein Turbofan-Triebwerk?  
[www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)



# Die Integrationsfrage

*Es wird eng am Himmel: Unbemannte Drohnen, Flugtaxis und andere neue Luftverkehrsteilnehmer erfordern neuartige Konzepte und Lösungen für das Luftverkehrsmanagement.*

**Autor:** Denis Dilba





**Alles unter einen Hut** — Unbemannte Drohnen und Flugtaxis müssen zukünftig sicher in den Luftraum integriert werden. Der wachsende Bereich erfordert ein automatisiertes Luftverkehrsmanagement.



**Sperrzone Flughafen** — Dort wo auch Verkehrsflugzeuge in den unkontrollierten Luftraum eindringen, haben die Drohnen ein Flugverbot.



**Drohnenmarkt in  
Deutschland bis 2030**

**Kommerzielle Drohnen:**

**525%**  
**Wachstum**  
(ca. 126.000 Drohnen)

**Private Drohnen:**

**721.000**  
gesamt ca.  
**850.000**

Unbemannte Drohnen, die Blutkonserven und Gewebepollen zwischen Krankenhäusern hin- und herfliegen oder Brücken und Bahntrassen mit Sensorik auf Schäden prüfen. Flugtaxis, die Passagiere von Flughäfen direkt weiter in die Innenstädte bringen. Große, vollautomatische Frachtflugzeuge, die nur noch einen Piloten an Bord haben. Leichtflugzeuge, die mit Brennstoffzellen- oder Batterieantrieben nahezu emissionslos auf Regionalflughäfen verkehren. Und Überschalljets, die Transatlantik-Flüge auf drei Stunden verkürzen. All das ist in akuter Entwicklung und teilweise schon im prototypischen Einsatz. Was allerdings nicht heißt, dass wir die neue Vielfalt schon morgen in breiter Nutzung am Himmel sehen. „Neben teilweise noch offenen Fragen der Wirtschaftlichkeit liegt eine der höchsten Hürden in der sicheren und effizienten Integration solcher neuen Luftverkehrsteilnehmer in den Luftraum“, sagt Dr.-Ing. Bernd Korn, Abteilungsleiter Pilotenassistenz am Institut für Flugführung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Braunschweig.

Die mit Abstand größte Herausforderung in dieser Hinsicht stellen die unbemannten Drohnen und Flugtaxis dar – der Bereich mit den rasantesten Wachstumsraten. Laut einer Studie vom Verband der unbemannten Luftfahrt wächst al-

lein der kommerzielle Drohnenmarkt in Deutschland von 2019 bis 2030 um 525 Prozent auf rund 126.000 Drohnen an. Gleichzeitig werden dann 721.000 private Drohnen in Betrieb sein. Wenig überraschend also, dass DLR-Experte Korn hier die größte Dringlichkeit und Herausforderung bei der Luftraumintegration sieht. „Die Missionen, die unbemannte Drohnen und Flugtaxis erfüllen sollen, sowie deren Betriebsweise unterscheiden sich eklatant von der herkömmlichen Luftfahrt“, sagt Korn. „Beide fliegen im Vergleich zu Verkehrsflugzeugen in deutlich geringeren Höhen, wobei auch viel weniger Zeit zwischen Start und Landung vergehen.“ Schon bei wenigen tausend unbemannten Drohnen und Flugtaxis ergeben sich somit mehrere hunderttausend Flugbewegungen pro Tag. Zum Vergleich: Der Frankfurter Flughafen kam im gesamten Jahr 2019 auf 513.912 Flugbewegungen.

**Drohnen und Flugtaxis erfordern ein automatisiertes Luftverkehrsmanagement**

Das Verkehrsmanagement der sehr konservativen aber dadurch auch sehr sicheren klassischen Luftfahrt ist mit dieser Masse schlicht überfordert: Es stützt sich auf jahrzehntealte Prozesse und Verfahren. Diese funktionieren auch heute noch sehr gut, so DLR-Mann Korn, stammen aber oft noch aus Zeiten, als Internet und Satelliten-





**Klare Vorschriften** — Bis zu einer Höhe von 120 Meter dürfen sich unbemannte Drohnen mit einem Startgewicht von unter 25 Kilogramm bewegen.

navigation noch nicht zur Verfügung standen. So ist das Hauptkommunikationsmittel im Verkehrsmanagement der klassischen Luftfahrt noch immer der Sprechfunk. Die Lotsen sortieren damit den Flugverkehr und stellen sicher, dass sich zwei Flugzeuge nicht zu nahe kommen. Neue Überschalljets, Leichtflugzeuge und vollautomatische Frachtflugzeuge mit nur einem menschlichen Piloten in den Luftraum zu integrieren, sei daher neben vielen Detail-Herausforderungen prinzipiell kein größeres Problem: Zum einen ist der Kommunikationsweg klar, zum anderen bleibt ihre Anzahl auf absehbare Zeit überschaubar. Sie passen also in das bestehende Luftverkehrsmanagement-System. Bei unbemannten Systemen und Flugtaxi ist das anders.

Zwar ist es technisch denkbar, dass größere unbemannte Drohnen Flugbewegungs-Informationen per Text-to-Speech-Verfahren in Sprechfunk-Signale umwandeln und andersherum gesprochene Lotsenanweisungen verstehen und verarbeiten können. „So könnten größere Drohnen in den normalen Luftraum integriert werden – wenn es einige wenige bleiben“, sagt Korn. Er schätzt, dass mit solchen Lösungen in den nächsten fünf Jahren zu rechnen ist. „Aber manuell auf engem Raum, etwa über einer Stadt, 100.000 oder mehr Flüge am Tag zu managen wird nicht funk-

tionieren. Hier muss automatisiert werden“, so der Experte. Die Herausforderung dabei ist nicht nur ein neues automatisiertes Luftfahrtverkehrsmanagement-System selbst, sondern auch der Umstand, dass heutige Verkehrsflugzeuge damit noch nicht kompatibel sind. Ein neues System muss eigentlich sofort für alte und neue Luftverkehrsteilnehmer funktionieren. Bei diesem Problem spielt den Expert:innen die niedrige Flughöhe von unbemannten Drohnen und Flugtaxi in die Karten.

Sie dürfen sich nur im sogenannten unkontrollierten Luftraum bewegen, der bis zu einer Höhe von 2.500 Fuß (762 Meter) reicht und kommen damit Verkehrsflugzeugen nicht in die Quere. Deren Revier, der kontrollierte Luftraum, beginnt erst darüber. Hier stellt die Flugsicherung den störungsfreien Flugverlauf sicher. Drohnen und menschliche Pilot:innen im unkontrollierten Luftraum fliegen nach der Regel „see and avoid“ und sind selbst für Mindestabstände zu anderen Flugzeugen, Hindernissen und Wolken verantwortlich. Innerhalb dieses von der Verkehrsfliegerei getrennten Luftraums bleibt aber die Herausforderung bestehen, automatisiert die künftig sehr hohe Anzahl an Flugbewegungen zu bewältigen. Den sicheren Drohnen- und Flugtaxi-Betrieb soll hier ein sogenanntes UTM übernehmen – ein Air



**Enge Manöver** — Auch ein Konzept für einen Start- und Landeplatz auf engem Raum – sogenannte Vertidrome – soll in den kommenden Jahren entwickelt werden.

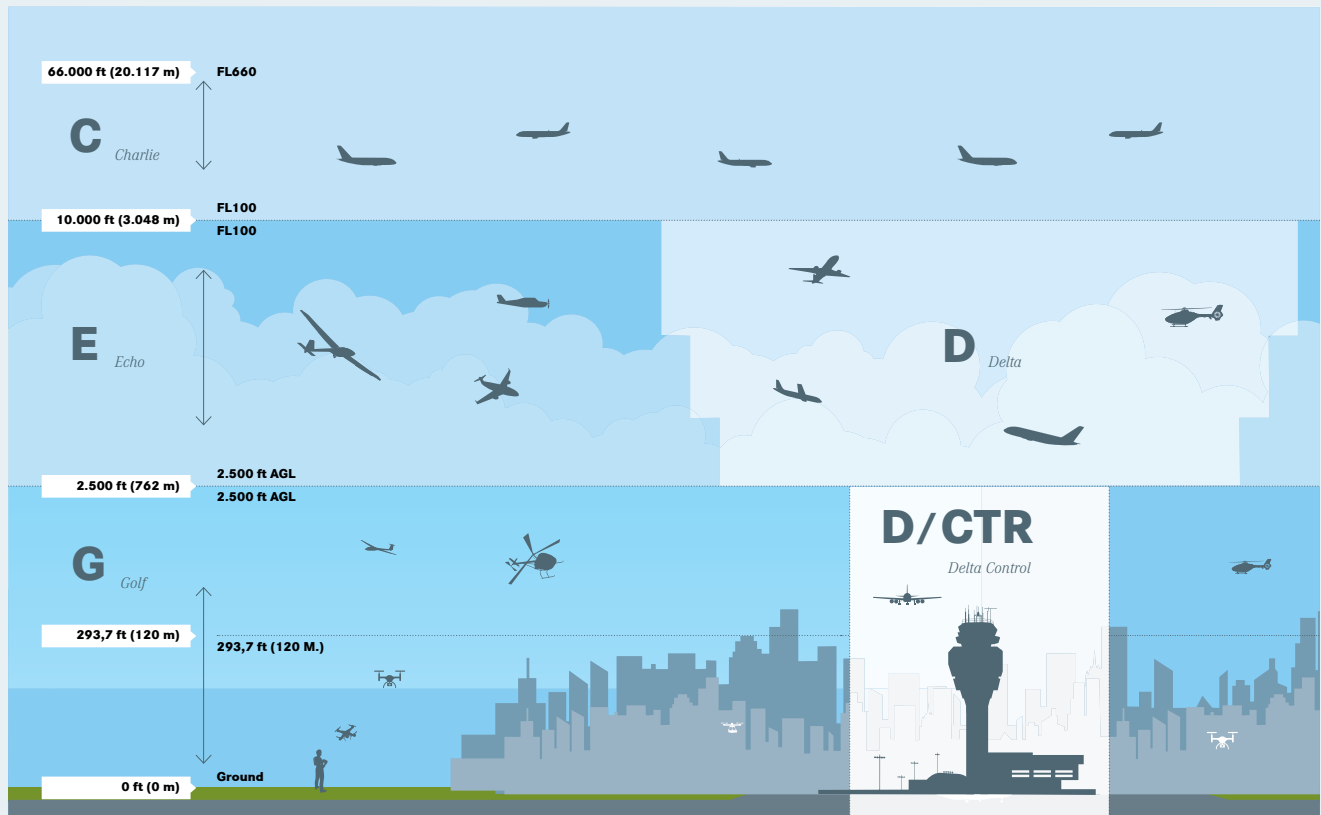
*„Manuell auf engerem Raum, etwa über einer Stadt, 100.000 oder mehr Flüge am Tag zu managen wird nicht funktionieren. Hier muss automatisiert werden.“*

**Dr.-Ing. Bernd Korn**

Abteilungsleiter Pilotenassistenz am Institut für Flugführung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Braunschweig

# Wer wo fliegen darf

Rund 50.000 Sichtflüge und drei Millionen Verkehrsflugbewegungen verzeichnet die Deutsche Flugsicherung DFS über Deutschland in normalen Jahren. Grenzenlos kann die Freiheit über den Wolken daher leider nur im Lied von Reinhard Mey sein: Um die Sicherheit der künftig wachsenden Anzahl der verschiedenen Luftverkehrsteilnehmer gewährleisten zu können, ist klar festgelegt, wer in welchem Teil des Luftraums über Deutschland und unter welchen Bedingungen fliegen darf.



(vereinfachte Darstellung)

## Bis 120 Meter

Seit Anfang 2021 dürfen unbemannte Drohnen mit einem Startgewicht von unter 25 Kilogramm nicht höher als 120 Meter aufsteigen. Darüber hinaus müssen die Drohnenpilot:innen auch stets innerhalb der eigenen Sichtweite fliegen. Die Luftfahrtbehörden können auf Antrag Ausnahmegenehmigungen ausstellen.

## Luftraum G (bis 2.500 Fuß / 762 Meter)

Luftraum Golf, der auch die ersten 120 Meter über Grund umfasst, wird auch als der unkontrollierte Luftraum bezeichnet. Da hier die Sichtflugregeln nach dem Prinzip „Sehen und Ausweichen“ gelten, müssen Pilot:innen Abstand zu Wolken halten und mindestens 1,5 Kilometer weit sehen können.

## Luftraum E (bis 10.000 Fuß / 3.048 Meter)

Spätestens ab einer Höhe von 762 Metern über Grund beginnt die Kontrolle durch die Flugsicherung. Die Mindestsichtweite für Sichtflüge muss fünf Kilometer betragen. Verkehrsflugzeuge werden von Lotsen gestaffelt. Für alle Luftverkehrsteilnehmer unterhalb von 3.048 Metern gilt ein Tempolimit von 250 Knoten (463 km/h).

## Luftraum C (bis 66.000 Fuß / 20.117 Meter)

Auch oberhalb von 3.048 Metern sind noch Sichtflüge erlaubt – aber nur wenn Pilot:innen mindestens acht Kilometer weit blicken können. Wie in Luftraum E muss der Abstand zu Wolken vertikal 1.000 Fuß (305 Meter) und horizontal 1,5 Kilometer betragen. Eine Flugverkehrskontrollfreigabe ist immer erforderlich.

## Luftraum D

(variable Höhen, unterhalb von 10.000 Fuß / 3.048 Meter)

Um die Sicherheit im Bereich von Flughäfen zu erhöhen, wird der Luftraum C mit zunehmender Nähe schrittweise abgesenkt und dann als Luftraum D bezeichnet. Die Sichtweite für Sichtflüge muss hier mindestens fünf Kilometer betragen, für die Wolkenabstände gelten die Vorgaben von Luftraum C.

## Luftraum D / CTR

Direkt über und um Flughäfen unterliegt auch der Flugbetrieb unterhalb von 762 Metern zusätzlich den strengeren Auflagen aus Luftraum D – er wird daher „Delta Control“ genannt. Drohnen sind in diesem Bereich verboten. Für sichere Starts und Landungen darf die Hauptwolkenuntergrenze zusätzlich nicht unter 457 Metern liegen.

Traffic Management System für Unbemannte Luftfahrzeug-Systeme. „So ein UTM muss zuallererst alle unbemannten Luftfahrzeugsysteme und Flugtaxis sicher erfassen können“, sagt Angela Kies, Head Unmanned Aircraft Systems bei der DFS Deutschen Flugsicherung in Langen bei Frankfurt.

*„So entsteht ein komplettes Luftlagebild, das einen automatisierten Drohnenbetrieb über größere Distanzen und außerhalb der Sichtweite des Drohnenpiloten am Boden ermöglicht.“*

#### **Angela Kies**


Head Unmanned Aircraft Systems bei der DFS Deutschen Flugsicherung in Langen bei Frankfurt

### **UTM-Systeme für Drohnen werden auch die herkömmliche Luftfahrt verändern**

Genau das und noch mehr können die Entwicklungen der Flugsicherung leisten. Ein rund 35 Gramm leichter LTE-Mobilfunk-Transponder, der von der Droniq GmbH entwickelt wurde, einem Gemeinschaftsunternehmen der DFS und der Deutschen Telekom, wird dazu an den Fluggeräten angebracht. Dieses sogenannte Hook-on-device liefert die Positionsdaten über das Mobilfunknetz an das UTM der DFS, das zusätzlich weitere Ortungsdaten der bemannten Luftfahrt bereitstellt. „So entsteht ein komplettes Luftlagebild, das einen automatisierten Drohnenbetrieb über größere Distanzen und außerhalb der Sichtweite des Drohnenpiloten am Boden ermöglicht“, erklärt Drohnen-Expertin Kies. Gerade der erlaubte Flug außerhalb der Sichtweite ermöglichte zahlreiche sinnvolle und wirtschaftliche Einsatzmöglichkei-

ten von Drohnen und ist damit die Grundlage für deren wirtschaftlichen Betrieb. „In DLR-Projekten wie City-ATM (Air Traffic Management) hat das Droniq-System bereits seine Praxistauglichkeit bewiesen“, sagt DLR-Experte Korn.

Trotzdem sei noch viel Entwicklungsarbeit nötig, um einen reibungslosen Betrieb von unbemannten Systemen zu gewährleisten, sagt der Forscher. Projekte wie City-ATM und das gerade gestartete HorizonUAM (Urban Air Mobility), in denen durch Praxistests mit Drohnen und Flugtaximodellen Schwachstellen im Zusammenspiel der Technik aufgedeckt und anschließend ausgemerzt werden, seien daher unerlässlich, sagt Korn. DLR-Kollegin Dr.-Ing. Bianca Schuchardt, die das Projekt HorizonUAM leitet. „Zum Luftverkehrsmanagement von unbemannten Drohnen und Flugtaxis gehört im Detail auch ein Konzept für einen Start- und Landeplatz auf engem Raum – solche Vertidrome wollen wir in HorizonUAM unter anderem in den kommenden drei Jahren entwickeln.“ Mittel- bis langfristig werden UTM-Systeme für Drohnen aber auch die herkömmliche Luftfahrt verändern, ist sich Korn sicher.

„Die guten Erfahrungen, die wir in den kommenden fünf Jahren mit einem automatisierten Verkehrssystem für Drohnen und Flugtaxis sammeln werden, führen meiner Einschätzung nach dazu, dass es einen Automatisierungsboom in der klassischen Luftfahrt geben wird“, sagt der DLR-Wissenschaftler. Auf diese Weise, so Korn, werden das ATM der klassischen Luftfahrt und UTM-Systeme für Drohnen und Flugtaxis langfristig zu einem gemeinsamen automatisierten Luftverkehrsmanagement zusammenwachsen. 

## **DRONIQ**

**Weite Einsatzmöglichkeiten** — Mit dem Air Traffic Management System für unbemannte Luftfahrzeug-Systeme sollen auch Drohnenflüge außerhalb der Sichtweite der Pilot:innen ermöglicht werden.



**HorizonUAM** — Das Projekt des Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt forscht unter anderem an der Umsetzbarkeit von unbemannten Systemen.

#### **AUTOR:**



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

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

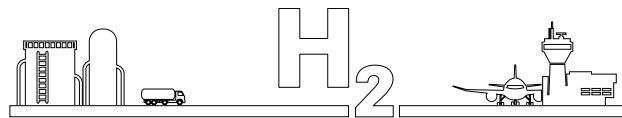
Flugtaxis: Welche unterschiedlichen Konzepte sind im Anflug?  
[www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)



# Ohne geht's nicht

*Emissionsfreies Fliegen mit Wasserstoff – damit die Vision Realität wird, muss neben der Entwicklung der Brennstoffzelle vor allem auch der Aufbau einer Wasserstoff-Infrastruktur vorangetrieben werden.*

**Autor:** Denis Dilba



Mit einer Höhe von knapp 150 Metern auf einer Grundfläche von 230 mal 230 Metern gehört die Cheops-Pyramide nicht umsonst zu den sieben Weltwundern der Antike. Knapp drei davon bräuchte man, um rund zehn Millionen Tonnen Kerosin zu lagern. In den Jahren vor der Corona-Pandemie entsprach das der Menge, die pro Jahr an deutschen Flughäfen getankt wurde. In einer fiktiven Zukunft, in der Flugzeugantriebe nur noch mit Wasserstoff betrieben werden, wären es gleich neun der monumentalen Bauwerke. Sehr wahrscheinlich würde sogar noch deutlich mehr Platz und Volumen benötigt, da solche Speicher doppelwandig und mit Vakuum im Zwischenraum ausgelegt sein sollten: Der Wasserstoff muss flüssig und damit bei minus 253 Grad Celsius gehalten werden. Die Lagerung von Flüssigwasserstoff ist aber nur eine Herausforderung. Der tiefkalte Treibstoff der Zukunft müsste auch noch zu den Flughäfen transportiert werden und dann in die Flugzeuge gelangen.

„Glücklicherweise werden wir solche Mengen nicht über Nacht brauchen. Der Wasserstoffbedarf der Luftfahrt wird anfangs noch klein sein und dann Schritt für Schritt steigen“, sagt Barnaby Law, Chief Engineer Flying Fuel Cell bei der MTU Aero Engines. Und aus heutiger Sicht werde auch in 2050 nicht jedes Flugzeug

mit flüssigem Wasserstoff abheben, so Law. Für Langstreckenflüge würden die Tanks einfach zu groß sein. Um Verkehrsflugzeuge mit klimafreundlichen Wasserstoffantrieben in die Luft zu bringen, ist der Aufbau einer entsprechenden Infrastruktur aber mindestens ebenso wichtig, wie die Entwicklung der fliegenden Brennstoffzelle, der Kryotanks und der Integration beider Komponenten in ein Flugzeug.

Denn: Auch ein wasserstoffbetriebenes Null-Emissionen-Flugzeug ist leider nutzlos, wenn es nicht betankt werden kann. Zwar rechnet die Branche erst ab 2035 mit den ersten Wasserstoffflugzeugen, der Aufbau der Infrastruktur ist aber bereits angelaufen.

*„Der Wasserstoffbedarf der Luftfahrt wird anfangs noch klein sein und dann Schritt für Schritt steigen.“*

---

**Barnaby Law,**  
Chief Engineer Flying Fuel Cell  
bei der MTU

---

## Von blauem zu grünem Wasserstoff

„Zuallererst muss der Wasserstoff in ausreichender Menge produziert werden“, sagt Law. Idealerweise grün – denn nur wenn Wasserstoff per Elektrolyse mit CO<sub>2</sub>-freiem, „grünem“

Strom aus Windkraft, Photovoltaik oder anderen erneuerbaren Energien hergestellt wird, reduziert er auch insgesamt die CO<sub>2</sub>-Emissionen fast vollständig. „Grüner Wasserstoff ist natürlich das Ziel“, sagt der MTU-Experte, „aber zu Beginn nur erneuerbar produzierten Wasserstoff zuzulassen, geht leider an der globalen Entwicklung vorbei.“ Längst nicht alle Länder hätten gute Produktionsbedingungen für erneuerbaren Strom oder Geld für den Import von großen

## Eine kleine Wasserstoff-Farbenlehre



Quelle: Bundesministerium für Bildung und Forschung

Mengen an grünem Wasserstoff, einige verfügen zudem über große Erdgasreserven. „Wenn diese Länder nicht mitmachen, weil es für sie billiger ist, weiter auf fossiles Kerosin zu setzen und parallel auch nicht weiter in den Aufbau einer Wasserstoffindustrie und die Logistikketten investieren, hat man zum einen viel CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzial verschenkt und verfestigt in diesen Ländern zum anderen die Abhängigkeit von fossilen Kraftstoffen.“

Laws Meinung nach sollte man daher anfangs auch sogenannten blauen Wasserstoff für den Einsatz im Flugverkehr in Betracht ziehen. Dabei handelt es sich um „grauen“ Wasserstoff, der aus herkömmlichem Erdgas produziert wird, bei dem aber die in der Produktion entstandenen CO<sub>2</sub>-Emissionen gespeichert werden und nicht in die Atmosphäre gelangen. Bei der Speicherung werde auch von „Carbon Capture and Storage“, kurz CCS, gesprochen, erklärt Law. Für eine Übergangsphase hin zu 100 Prozent grünem Wasserstoff halte er diese Lösung für akzeptabel und sinnvoll: „Im Vergleich zu fossilem Kerosin gelangt mit blauem Wasserstoff weniger CO<sub>2</sub> direkt in die Atmosphäre, wo es deutlich schwieriger zu kontrollieren ist, als konzentriert in einem Speicher am Boden.“ Zudem werde der Anteil an blauem Wasserstoff mittel- bis langfristig stark zurückgehen, da grüner Wasserstoff mit steigender Produktion immer günstiger werde. Auch gibt es sehr interessante weitere „blaue Alternativen“ wie zum Beispiel die Wasserstoffgewinnung durch Methan (Erdgas) Pyrolyse, bei der der Kohlenstoff als Feststoff abfällt und nicht als gasförmiges CO<sub>2</sub>.

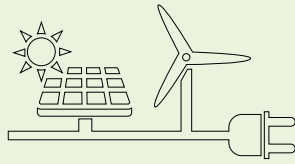
### Flughäfen benötigen Wasserstoff in flüssiger Form

Einer aktuellen McKinsey-Studie zufolge kann grüner Wasserstoff in einigen Regionen der Welt sogar schon ab dem Jahr 2030 zu Preisen hergestellt werden, die konkurrenzfähig zu grauem und blauem Wasserstoff sind. Entscheidend für den Preis von grünem Wasserstoff sind in erster Linie die Bedingungen am Produktionsstandort: „Viel Wind und viel Sonne lasten die Elektrolyseure besser aus und tragen daher zu einer besseren Wirtschaftlichkeit bei“, erläutert Dr. Valentin Batteiger, Leiter Alternative Kraftstoffe beim Münchner Luftfahrt-Forschungsinstitut Bauhaus Luftfahrt. Wie dann die Logistikkette aussehe, über die der Wasserstoff zu den Flughäfen gelange, hänge wiederum von den lokalen Gegebenheiten des jeweiligen Flughafens ab. Beim Flughafen Frankfurt beispielsweise werde sehr wahrscheinlich Flüssigwasserstoff mit dem Binnenschiff zum nächstliegenden Main-Hafen transportiert und in der Anfangsphase bis 2050 von dort aus per Lastwagen zum Flughafen gefahren, schildert Batteiger. Später, bei steigendem Wasserstoffbedarf, werde sich dann sehr wahrscheinlich auch eine Flüssigwasserstoff-Pipeline rechnen, sagt MTU-Experte Law. Grundsätzlich müssten sich die Logistikketten seiner Einschätzung nach aber nicht wesentlich ändern. Andernorts biete der Transport über die Schiene eine attraktive Alternative.

Unabhängig von der Art des Transportmittels wird der Wasserstoff aber in der Regel in tiefgekühlter flüssiger Form in Kryotanks zu den Flughäfen geliefert – zum einen da der Wasserstoff dort flüs-

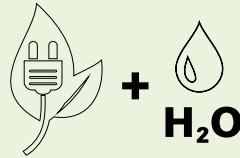
## Der Weg des Wasserstoffs

### PRODUKTION



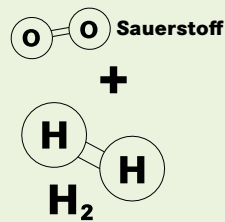
#### Grüne Stromerzeugung

Windkraft, Photovoltaik oder andere erneuerbare Energien erzeugen grünen Strom.



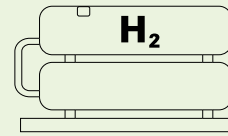
#### Elektrolyse

In der Elektrolyse-Anlage wird Strom mit Wasser zusammengeführt, um es unter Einsatz von elektrischer Energie in Wasserstoff und Sauerstoff aufzuspalten.

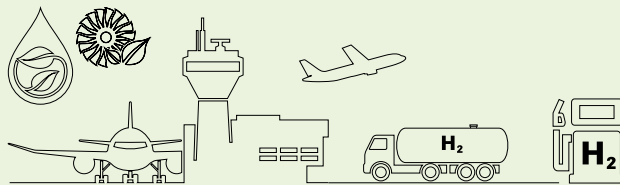


#### Grüner Wasserstoff

Die Produktion von grünem Wasserstoff erfolgt CO<sub>2</sub>-frei, da der eingesetzte Strom zu 100% aus erneuerbaren Quellen stammt und damit CO<sub>2</sub>-frei ist.



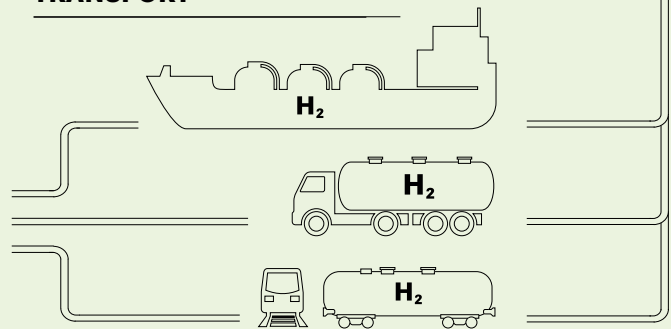
### NUTZUNG



#### Neue Antriebe

In nachhaltigen alternativen Kraftstoffen, CO<sub>2</sub>-frei in der Fluggasturbine verbrannt oder in der fliegenden Brennstoffzelle emissionslos in Strom für Elektroantriebe umgewandelt – die Luftfahrtbranche setzt in Zukunft mit großen Erwartungen auf Wasserstoff.

### TRANSPORT



#### Verteilung des Wasserstoffs

Um den Wasserstoff als Energieträger verwenden zu können, muss er von der Elektrolyse-Anlage zum Verbraucher transportiert werden.

sig benötigt wird, zum anderen weil gasförmiger Wasserstoff ein zu großes Volumen einnimmt. Für den Lkw-Transport von Wasserstoffgas unter Hochdruck würden etwa mindestens zehn Mal mehr Lkw benötigt werden. „Die Wasserstoff-Verflüssigungsanlage steht in der Regel direkt am Standort der Wasserstoffherzeugung, da sie einen großen Durchsatz benötigt, um wirtschaftlich zu arbeiten und dort mit günstigem erneuerbarem Strom betrieben werden kann.“ Beim Beispiel des Flughafens Frankfurt wird dann entweder direkt am Main-Hafen oder auf dem Flughafengelände selbst ein großer Flüssigwasserstofftank stehen. „Wo solche Zwischenlager entstehen und wie groß sie sind, hängt von vielen Faktoren ab“, sagt Batteiger, „oft wird aber die verfügbare Fläche auf den Flughäfen die Entscheidung vorgeben.“ Wie etwa auch am Flughafen Hamburg, wo Jan Eike Blohme-Hardegen, stellvertretender Leiter Abteilung Umwelt, bereits ein Wasserstofflager für die Zeit nach 2040 plant: „Von der ersten Idee bis zur Fertigstellung ist das durchaus ein üblicher Zeitraum.“

#### Mit höherem Wasserstoffverbrauch schneller zur Wirtschaftlichkeit


Deutschlandweit befassen sich daher schon heute alle Flughäfen mit dem Thema Wasserstoff. „Mit einem im Vergleich zum aktuellen Kerosin-Tank um den Faktor drei, eher vier, größeren

Wasserstofftank stoßen wir auf unserer Fläche an die Grenze des Machbaren“, resümiert Blohme-Hardegen. Daher sucht er nach Alternativen, zum Beispiel in Form einer Pipeline: „Wir streben eine Einbindung an das Wasserstoffversorgungsnetz an, das in den kommenden Jahrzehnten auch den Norden Hamburgs erschließen wird.“ So kann das Wasserstofflager am Flughafen Hamburg kleiner ausfallen, denn der Wasserstoff wird gasförmig zum Flughafen transportiert. Schon in den nächsten Jahren wolle man aber einen kleineren Demonstratortank mit Test-Verflüssigungsanlage aufbauen, kündigt der Umwelt-Experte an. Mit dem Boil-Off-Gas – der gasförmigen Phase, die sich durch die Erwärmung des Flüssigwasserstoffs in dem Tank bildet – will der Flughafen Hamburg einen Teil seiner Brennstoffzellen-Vorfeldfahrzeuge emissionsfrei betreiben.

Den Wasserstoffverbrauch am Flughafen so zu erhöhen, sei in jedem Fall sinnvoll, sagt MTU-Technologie Law. „Denn je mehr Wasserstoff verbraucht wird, desto schneller rechnen sich auch die Investitionen in die Infrastruktur.“ Es gäbe neben den Vorfeldfahrzeugen auch noch Taxi- und Mietwagenflotten sowie Busse, die zumindest zum Teil mit Wasserstoff betrieben werden könnten. Grundsätzlich müssen die Investitionen aber über den Verkauf von Wasserstoff amortisiert werden, sagt Law: „Wenn

man mehr als 400 Kilogramm grünen Wasserstoff pro Tag verbraucht, lohnt sich sein Einsatz bereits.“ Damit ist Wasserstoff auch für kleinere Regionalflughäfen eine Perspektive. Die Abläufe bei der Flugzeugbetankung mit Wasserstoff dort wie auch auf großen Flughäfen würden sich kaum ändern, sagt Markus Bachmeier, Director Sales & Products beim Gase-Spezialisten Linde: „Lkw mit Kryotanks werden den Wasserstoff zu den Maschinen fahren. Ähnlich wie heute schon bei Wasserstoffautos wird dann ein Schlauch an den Tank gekuppelt.“ Das Betanken selbst laufe dann – je nach Flugzeuggröße – ähnlich schnell wie bei Kerosin ab.

### Golfregion kann Keimzelle für den Wasserstoffflugverkehr sein

„Wichtig ist dabei, dass hier weltweit gleiche Standards für die Technik herrschen“, erklärt Bachmeier. Das ist eine Voraussetzung dafür, dass man die volle prognostizierte Reichweite des Brennstoffzellen-Flugzeuges von knapp 4.600 Kilometern nutzen und am Zielflughafen wieder für den Rückflug auftanken kann. So käme man künftig emissionslos von München nach Dubai und zurück, so der Linde-Experte. Windstarke oder sonnenreiche Standorte, wie dort in der Golfregion, sieht der Bauhaus-Luftfahrt-Forscher Batteiger als Keimzellen für einen Wasserstoffflugverkehr: „Wegen der idealen Bedingungen für Solaranlagen kann die Produktion von grünem Wasserstoff direkt neben dem Flughafen aufgebaut werden, was die Logistik günstig macht.“ 

#### VERSCHIEDENE ANSÄTZE: WIE WASSERSTOFF ZUM FLUGHAFEN KOMMT



**Liquid Organic Hydrogen Carrier** — Das Gas wird chemisch an ein Spezial-Öl gebunden. So kann der Wasserstoff in Tanklastern transportiert werden. An seinem Einsatzort wird er unter Energieeinsatz wieder aus dem Öl herausgelöst.



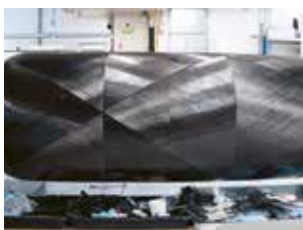
**Pipeline** — Wasserstoffpipelines bieten eine kontinuierliche Versorgung. In ihnen wird der Wasserstoff gasförmig transportiert. Es müssen daher an Flughäfen Verflüssigungsanlagen errichtet werden, da Flugzeuge den Wasserstoff flüssig tanken.



**Fraunhofer „Powerpaste“** — Wasserstoff wird hochkonzentriert in einer zähflüssigen Masse gespeichert. Vermengt man die Paste mit Wasser wird gasförmiger Wasserstoff freigesetzt und kann einfacher transportiert werden.



**In Ammoniak gebunden** — Wasserstoff wird in die chemische Verbindung Ammoniak umgewandelt, mit bestehender Infrastruktur zum Flughafen transportiert, wo die Verbindung dann wieder zurück in Wasserstoff gewandelt wird.



**Druck- und Kryotanks** — In Drucktanks werden zylinderförmige Gasflaschen zu Bündeln in einem Schutzrahmen zusammengefasst und unter Druck transportiert. Kryotanks befördern Wasserstoff flüssig bei unter minus 253 Grad Celsius.

#### AUTOR:



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

#### WEITERE INFORMATIONEN ZUM THEMA „WASSERSTOFF“:

Neue Antriebe: Mit Wasserstoff in die Zukunft.  
[www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)



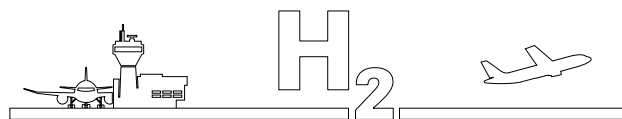
Wie Wasserstoffantriebe ins Flugzeug kommen.  
[www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)



# Weniger ist mehr

*Wasserdampf aus Brennstoffzellen und Wasserstoffverbrennung in Triebwerken können Kondensstreifen bilden – die MTU Aero Engines arbeitet bereits daran, mögliche Klimaeffekte zu minimieren.*

**Autor:** Denis Dilba



Ohne Wasserdampf in der Atmosphäre wäre es auf der Erde äußerst ungemütlich. Als Hauptakteur des natürlichen Treibhauseffekts sorgt er maßgeblich dafür, dass die Temperatur auf unserem Planeten im Mittel bei plus 15 Grad Celsius liegt und nicht um den Gefrierpunkt oder darunter. Und ohne gasförmiges Wasser in der Lufthülle der Erde gäbe es auch keine Wolken oder Regen. Kurz: Wasserdampf macht das Leben, so wie wir es kennen, erst möglich. Gelangt Wasserdampf aber nicht durch natürliche Verdunstung aus Flüssen, Seen und Meeren in die Atmosphäre sondern durch Flugzeugtriebwerke, trägt auch er wie Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) relevant zur menschengemachten Erderwärmung bei – insbesondere dann, wenn sich durch den Wasserdampf in großer Höhe langlebige Kondensstreifen-Zirren bilden. Dieser Effekt und auch die durch Stickoxide hervorgerufene Klimawirkung sind noch nicht abschließend verstanden: Bis heute sind die komplexen Vorgänge in der Atmosphäre Gegenstand der Forschung.

In der Vergangenheit waren die Ziele für die Luftfahrt auf die Minimierung des direkten CO<sub>2</sub>-Effekts ausgerichtet. In dieser Hinsicht waren die Luftfahrtunternehmen sehr erfolgreich: So konnte der durchschnittliche Verbrauch der deutschen Passagierflugzeug-Flotte und damit ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen unter anderem durch den Einsatz von effizienteren Triebwerken allein seit 1990 bis zum Jahr 2019 um 43 Prozent gesenkt werden. In den vergangenen beiden Jahrzehnten wurde dann aber Forschungsergebnis um Forschungsergebnis deutlicher, dass CO<sub>2</sub> nur einen Teil der Klimawirkung der Luftfahrt ausmacht. „Global gesehen kann man heute sagen: Ungefähr ein Drittel der Klimawirkung des Flugverkehrs entsteht durch das emittierte Kohlendioxid und rund zwei Drittel durch die Bildung langlebiger Kondensstreifen, Stickoxide und anderer Aerosole“, sagt Reinhard Herbener vom Umweltbundesamt in Dessau-Roßlau, Experte für die Klimawirkung des Luftverkehrs.



### Neues Ziel: Reduktion aller klimawirkenden Faktoren

Die im September 2020 veröffentlichte und bisher umfangreichste Studie zur Klimawirkung des Luftverkehrs bestätigt und präzisiert diese Ergebnisse. Erstmals haben die Wissenschaftler:innen dabei auch Wirkungen räumlich inhomogener Effekte in ihren Berechnungen berücksichtigt – wie das global unterschiedlich verteilte Auftreten und Wirken von Kondensstreifen-Zirren in Abhängigkeit von Flugverkehr und Wetterbedingungen. „Diese durch Wasserdampf-Emissionen erzeugten Wolken können sowohl einen erwärmenden Effekt auf die Erdtemperatur haben als

*„Wir müssen ganz einfach alle Register ziehen, die unseren Klimafußabdruck verkleinern. Das betrifft natürlich auch konventionelle Triebwerke – eine noch kraftstoffsparendere Variante des GTF-Antriebes ist längst in Arbeit.“*

---

**Fabian Donus**, Innovationsmanager bei der MTU

---

**Fabian Donus**

*Innovationsmanager bei der MTU*





**Dominik Wirth**

*MTU-Experte für Advanced  
Propulsion Systems*

*„Den technischen Aufwand, heutige Triebwerke so umzurüsten, dass sie mit Wasserstoff funktionieren, halten wir für moderat.“*

---

**Dominik Wirth,**

*MTU-Experte für Advanced Propulsion Systems*

---

auch kühlend wirken“, sagt Prof. Robert Sausen vom Institut für Physik der Atmosphäre des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Oberpfaffenhofen. Die Studie konnte ihre Klimawirkung nun genauer als bisher quantifizieren: „Wir haben herausgefunden, dass der Einfluss der Kondensstreifen-Zirren weniger als die Hälfte der zuvor geschätzten Klimawirkung entfaltet, aber immer noch den größten Beitrag des Luftverkehrs zur globalen Erwärmung beisteuert“, sagt Sausen.

Natürlich habe auch die MTU Aero Engines die Entwicklung der wissenschaftlichen Ergebnisse in den vergangenen Jahren kontinuierlich verfolgt, sagt Fabian Donus, Innovationsmanager bei der MTU. „Wir arbeiten schon seit einiger Zeit daran, die neuen Erkenntnisse in unseren Klimazielen und Technologieentwicklungen zu verankern.“ Dabei betrachten Donus und seine Kolleg:innen nicht nur heutige Triebwerke noch einmal unter dem neuen Blickwinkel einer optimalen Gesamtreduktion aller klimawirkenden Faktoren. Denn auch sie können unter bestimmten Umweltbedingungen langlebige Kondensstreifen erzeugen: Bei der Verbrennung von Kerosin entsteht neben CO<sub>2</sub> als zweites wesentliches Reaktionsprodukt Wasserdampf. Die MTU-Ingenieur:innen haben vor allem auch die verbleibende Klimawirkung der kommenden Triebwerksgenerationen auf Basis von Wasserstoff im Fokus. Denn sowohl modifizierte Triebwerke, die das

energiereiche Element direkt verbrennen, als auch Brennstoffzellen, die daraus Strom für Elektroantriebe produzieren, erzeugen zwar keine CO<sub>2</sub>-Emissionen mehr, aber Wasserdampf.

### **Die direkte Wasserstoffverbrennung**

Die direkte Verbrennung von Wasserstoff könnte dabei etwas schneller einsatzfähig sein und eine Brücke hin zur fliegenden Brennstoffzelle bilden, die nach MTU-Einschätzung bereits 2035 abheben könnte. „Den technischen Aufwand, heutige Triebwerke so umzurüsten, dass sie mit Wasserstoff funktionieren, halten wir für moderat“, sagt Dominik Wirth, MTU-Experte für Advanced Propulsion Systems. Bei der Verbrennung von Wasserstoff entstehen ausschließlich Wasserdampf und Stickoxide. „Welche Klimawirkung sich dadurch ergibt und wie groß sie im Vergleich zu konventionellen Triebwerken sowie der Brennstoffzelle ist, untersuchen wir gerade in einer aufwändigen Studie“, sagt Wirth. Was man sicher sagen könne, ist, dass bei der Wasserstoffverbrennung mehr Wasserdampf entsteht als bei herkömmlichen Kraftstoffen. Das müsse aber nicht zwingend schlecht sein, sagt der Experte: „Die allermeisten Kondensstreifen verdampfen wenige hundert Meter hinter dem Flugzeug schon wieder und sind hinsichtlich ihrer Klimawirkung vollkommen irrelevant.“

Aus Sicht von UBA-Experte Herbener ist bei der Wasserstoffverbrennung vorteilhaft, dass deutlich weniger Aerosole entstehen als in herkömmlichen Triebwerken. „Man hat keinen Schwefel und keinen Ruß, die zu Kondensationskeimen werden können und die Wolkenbildung anregen.“ Da in der Atmosphäre aber auch natürliche Aerosole wie Staubpartikel oder organische Moleküle vorkommen, die als Wolkenkeime dienen, verhindert der Vorteil der saubereren Verbrennung nicht, dass die dabei entstehenden Wasserdampf-Emissionen kondensieren. Wirth und sein Team versuchen daher auch zu verstehen, wie die Klimawirkung von langlebigen Kondensstreifen minimiert werden könnte. Eine Herausforderung, da diese von unzähligen Parametern abhängt. Der MTU-Experte nennt unter anderem die Größe der sich um die Kondensationskeime bildenden Eiskristalle, deren Anzahl, die



**Barnaby Law**  
Chief Engineer  
Flying Fuel Cell  
bei der MTU

Sonneneinstrahlung und die Helligkeit des Hintergrundes. Wirth glaubt aber, dass es durch mehr Wissen um die Prozesse der Wolkenbildung perspektivisch gelingen wird, den Klima-Effekt von Kondensstreifen zu reduzieren.

### Die fliegende Brennstoffzelle

Bei einer Brennstoffzelle entstehen außer Wasserdampf tatsächlich keine anderen Emissionen mehr. „Und weil die Prozesse innerhalb der Brennstoffzelle auf deutlich niedrigerem Temperaturniveau ablaufen als bei der Wasserstoffverbrennung, tritt vermehrt auch flüssiges Wasser aus“, erklärt Barnaby Law, Chief Engineer Flying Fuel Cell bei der MTU. Aus dem gleichen Grund entstehen bei einem brennstoffzellenbasierten Antrieb auch keine Stickoxide: Sie bilden sich erst bei Temperaturen oberhalb von 1.300 bis 1.400 Grad Celsius. Law und seine Kolleg:innen arbeiten unter anderem daran, Teile des in der Brennstoffzelle entstehenden Wassers wieder in sie zurückzuführen: „Das System braucht eine gewisse Feuchtigkeit, die in großer Höhe nicht gegeben ist“, so der Experte. Um die Klimawirkung der Brennstoffzelle noch weiter zu minimieren, will Law das emittierte Wasser nach Bedarf verändern: „Wir können große oder kleine Wassertropfen erzeugen oder das Wasser auch flüssig als kleines Rinnsal aus dem System führen“, so Law.


Im ersten Schritt müsse man aber wie bei der Wasserstoffverbrennung genauer verstehen, welche Tröpfchengröße, welche Tröpfchenverteilung und welche Temperaturunterschiede in welchen Flughöhen welche Klimawirkung verursachen, so

*„Vielleicht können wir die Brennstoffzelle sogar so auslegen, dass gar kein schädlicher Wasseranteil mehr entsteht.“*

---

**Barnaby Law,**  
Chief Engineer Flying Fuel Cell bei der MTU

---

der Ingenieur. „Vielleicht können wir die Brennstoffzelle sogar so auslegen, dass gar kein schädlicher Wasseranteil mehr entsteht“, sagt Law. Ob das funktioniert, sei noch offen, „aber wir wissen, dass wir ein gewisses Beeinflussungsvermögen der Wasseremissionen haben.“ Neben solchen technischen Lösungen bestehen darüber hinaus aber noch andere Methoden, um die möglichen Auswirkungen von Wasserdampf zu minimieren. DLR-Mann Sausen geht davon aus, dass man wie für konventionelle Triebwerke auch für Wasserstoffantriebe klimafreundliche Flugrouten planen kann. „Wir müssen ganz einfach alle Register ziehen, die unseren Klimafußabdruck verkleinern“, sagt Innovationsmanager Fabian Donus: „Das betrifft natürlich auch konventionelle Triebwerke – eine noch kraftstoffsparendere Variante des GTF-Antriebes ist längst in Arbeit“ 

#### AUTOR:



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

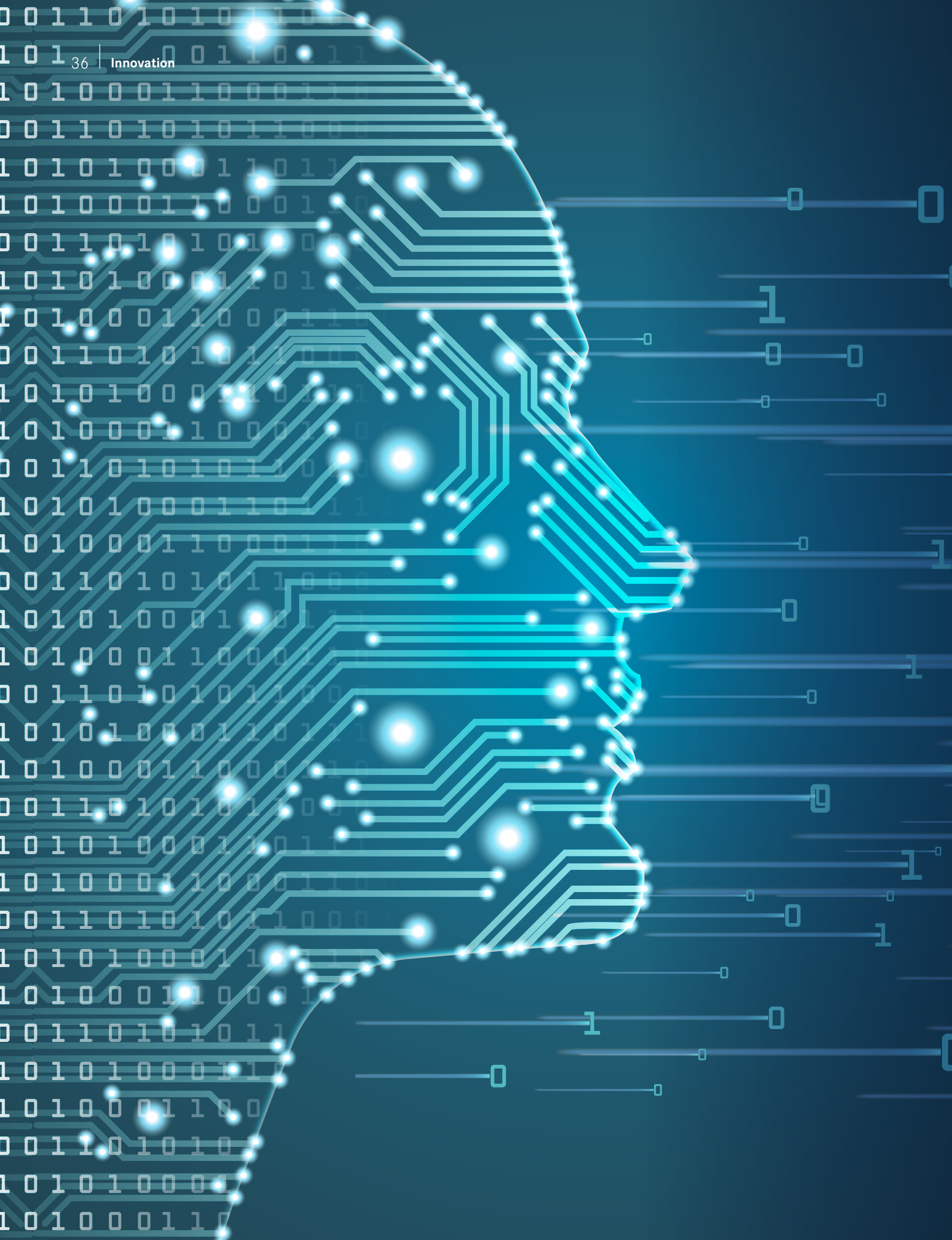
#### WEITERE INFORMATIONEN ZUM THEMA „WASSERSTOFF“:

Neue Antriebe: Mit Wasserstoff in die Zukunft.  
[www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)



Wie Wasserstoffantriebe ins Flugzeug kommen.  
[www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)





# Auf digitaler Mission

*Die MTU gibt digital Schub: KI, Big Data und Algorithmen heben das Triebwerksbusiness auf eine neue Ebene. Ihr wesentlicher Antreiber? Zahlreiche IT-Projekte, quer durchs Unternehmen.*

**Autor:** Thorsten Rienth

Kaum etwas macht den Wandel so deutlich, wie eine Reise zurück in die IT-Vergangenheit. Vor gar nicht allzu langer Zeit noch fungierte die Informationstechnik vor allem als eine Dienstleistung für die Unternehmensinfrastruktur. Mussten Bildschirme erneuert werden: Die IT-Fachkräfte kümmerten sich darum. Musste ein neues Netzwerk bereitgestellt werden: Die IT wusste es zu organisieren.

Heute, ein paar Jahre später nur, gehört die IT zu den nicht mehr wegzudenkenden Gestaltern des Unternehmens, die die Digitalisierung maßgeblich vorantreibt. Gerade in der Luftfahrtindustrie wird sichtbar, wie Big Data und Künstliche Intelligenz (KI) die Türen öffnen – etwa für neue Level beim Automatisierungsgrad in der Produktion, für effizientere Prozesse in Entwicklung und Fertigung oder für kostengünstige und maßgeschneiderte Servicelösungen.

Bei der MTU Aero Engines spielen Big Data, KI und Heuristiken ihren Mehrwert im ganzen Unternehmen aus. Ob an der Ferti-

gungslinie, am Prüfstand oder in der Instandhaltung: Die Erkenntnisse aus dem Betriebsleben fließen in die Entwicklung neuer Triebwerke ein – und machen sie nochmals robuster und vor allem effizienter.

Vor Jahren schon hat Deutschlands führender Triebwerkshersteller ein umfassendes „Digital Transformation Program“ aufgesetzt. Mittlerweile profitiert das Unternehmen enorm von einer Vielzahl an Digitalisierungsprojekten, die quer durch das Unternehmen aufgesetzt wurden. Doch anders als bei Produktentwickler:innen bringen Digitalexpert:innen ihre Unternehmen im Verborgenen voran. Denn zunächst einmal sind Bits und Bytes nur am Bildschirm sichtbar. Oder beim Blick hinter die Kulissen, wo Datenanalysen, selbstlernende Algorithmen und KI eine neue Ära in der Triebwerksentwicklung einläuten. Kurz: Immer dort, wo digitale und reale Welten aufeinandertreffen.

**Gehen Sie mit uns auf digitale Mission.**

## Digitale Köpfe: Fünf ausgewählte Projekte, die die Digitalisierung bei der MTU vorantreiben.



*„Big Data und Datenanalyse begleiten mich schon sehr lange. Zuerst im Wirtschaftsinformatikstudium, dann im IT-Consulting und jetzt bei der MTU. Das gesamte Big Data-Feld hat einen enormen Wandel hinter sich: Bis vor gar nicht allzu langer Zeit standen vor allem administrative Prozesse im Fokus. Jetzt liegt er ganz unmittelbar auf dem Produkt. Genau das ist der Punkt, der meine Aufgabe bei der MTU so spannend macht: Ich kann durch meine Arbeit ganz direkt die Produktqualität beeinflussen.“*

**Dr. Sonja Hecht**, Informatikerin bei der MTU Aero Engines



*„Wir Dateningenieur:innen fungieren als die Schnittstelle zwischen den IT-Infrastruktur Kolleg:innen, der Fachabteilung und den Data Scientist:innen im Unternehmen. Um diese Rolle gut ausfüllen zu können, ist einiges an Verständnis für die Arbeit dieser Fachabteilungen nötig. Als ich vor etwas über einem Jahr bei der MTU anfang, habe ich mich erst einmal in Niederdruckturbinen und ihre Fertigungsverfahren eingelesen. Big Data-Projekte sind also immer auch interdisziplinäre Projekte, das finde ich extrem spannend.“*

**Dr. Galina Baader**, Informatikerin bei der MTU Aero Engines

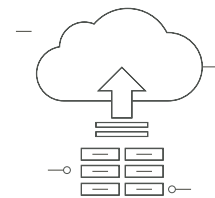
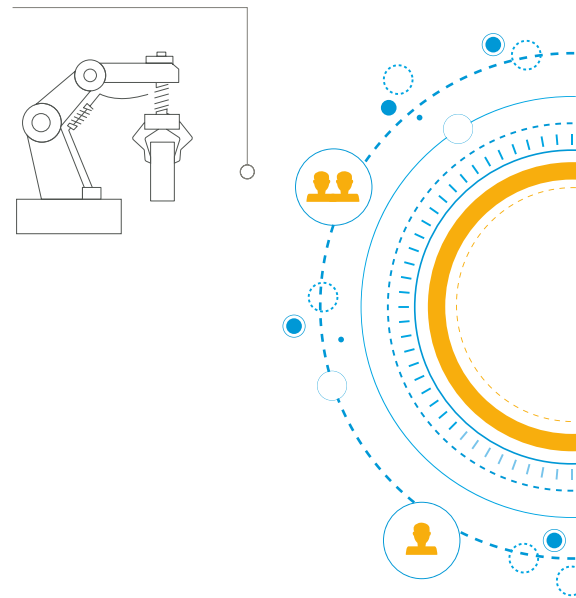


*„Künstliche Intelligenz fasziniert mich, seit ich das erste Mal von ihr gehört habe. Aber sie ist kein Selbstzweck. Die Herausforderung für uns KI-Entwickler:innen besteht darin, sie auf konkrete Anwendungsfälle hin maßzuschneidern und ein benutzerfreundliches ‚Front-End‘ zur Verfügung zu stellen. Nur so können wir die Kolleg:innen, die später mit der Software arbeiten, auch ganz direkt unterstützen.“*

**Thomas Piprek**,  
Spezialist für PLM-Datenaustausch bei der MTU Aero Engines

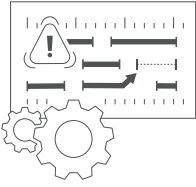
### Unsichtbares sichtbar machen

Big Data bringt Speicherkapazitäten an ihre Grenzen. Die MTU-Informatikerinnen Dr. Galina Baader und Dr. Sonja Hecht tüfteln an einer Lösung für das Triebwerksgeschäft.



### Dokumentenrecherche mit Künstlicher Intelligenz

Auch jenseits des klassischen Triebwerksherstellergeschäft macht sich die MTU „KI“ zunutze. Zum Beispiel bei der Klassifizierung von Dokumenten.



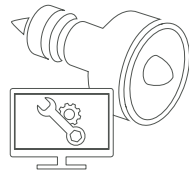
**Mastermind für die MTU-Produktion**

Noch kommen in der MTU-Produktion zahlreiche verschiedene Fertigungssteuerungssysteme zum Einsatz. Zeit für ein einheitliches Manufacturing Execution System.

*„Meine Diplomarbeit habe ich einst bei der MTU geschrieben – und zwar über die simulierte Pullsteuerung. Dann war ich an verschiedenen Positionen sowohl bei der MTU Aero Engines Polska als auch hier in München in der Supply Chain tätig. Jetzt kümmere ich mich IT-seitig um die MES-Einführung. Vieles fügt sich also nun für mich zusammen. Besonders spannend am MES-Projekt finde ich meinen Wissensgewinn: Ich bekomme enormen Einblick in alle Fertigungsbereiche. Im Gegenzug kann ich ihnen die Perspektive auf den konkreten Nutzwert der IT für ihre Anwendungen geben und an einer gemeinsamen Vision für die Zukunft arbeiten.“*



**Ralf Teufel**, Senior Consultant IT Manufacturing, Logistics & Quality bei der MTU Aero Engines



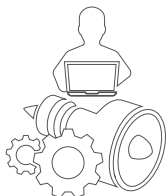
**Die Zukunft vorhersagen**

Mit künstlicher Intelligenz und Heuristiken ermöglicht die MTU zukünftig den Airlines verlässlichere Prognosen für die Triebwerksinstandhaltung.

*„Der Weg zum APC 2.0 ist hinsichtlich Komplexität eine Herausforderung erster Güte: Data Science-Modelle, Expertenwissen, Künstliche Intelligenz, Algorithmen – und ein Projektsetup über zahlreiche MRO-Standorte und Funktionalitäten hinweg. Wie bei allen großen Digitalisierungsvorhaben darf man die Kulturveränderung nicht unterschätzen. Schließlich wird Expertenwissen an eine Maschine übergeben. Das Vertrauen der Expert:innen zu gewinnen und sie für das Projekt zu motivieren, gehört daher ebenso zu den Herausforderungen. Veränderungsbereitschaft ist von allen gefordert. Ich bin begeistert, wie schnell sich Kolleg:innen auf neue Software und Programmiersprachen einstellen.“*



**Claus Bullenkamp**, Senior Manager Engine Programs bei der MTU Maintenance Hannover



**Drehscheibe für Triebwerkstestdaten**

Die MTU-Triebwerksentwickler:innen erhalten ein neues Versuchsdatenmanagement, das ihnen in Minutenschnelle Zugriff auf sämtliche MTU-Testdaten weltweit bietet.

*„Zur MTU bin ich über ein EU-Forschungsprojekt im Rahmen meiner Promotion an der TU München zum 3D-Metalldruck gekommen, dessen Ergebnis heute produktiv bei der MTU eingesetzt wird. MDM2020 ist also nun schon mein zweites Projekt, in dem ich nicht einfach nur Software programmiere – sondern auch jeden Tag sehe, dass ganz unmittelbare technische Anwendungen dahinterstecken. Der intensive Austausch mit den Anwendern im Fachbereich und die gemeinsame Lösungsfindung in vertrauensvoller Atmosphäre bereitet mir viel Freude.“*



**Dr. Fabian Bayerlein**, IT-Systemplaner bei der MTU Aero Engines



## Unsichtbares sichtbar machen

Um Maschinendaten nutzbarer zu machen, müssen Datenanalytist:innen gigantische Datenmengen in Kontexte setzen. Ein gänzlich neuer Speicher ist nötig.

Wer den abstrakten Begriff von Datenflut veranschaulichen will, könnte sich einer gängigen Fräsmaschine bedienen, mit der die MTU Aero Engines in München zum Beispiel Blisks fertigt, die in Verdichtern von Triebwerken zum Einsatz kommen. Mit einer Frequenz von 250 Hertz, also 250 Mal in der Sekunde, greift ihre Sensorik etwa 70 Signale aus Maschinen ab. Drehmomente, Temperaturen, Achspositionen oder Qualitätswerte der Kühlschmierstoffe. Zehn Stunden kann die Maschine bei einem komplexen Bauteil gut und gerne beschäftigt sein. Bedeutet für die Länge des Datensatzes: Über zehn Millionen Zeilen – für nur diesen Bearbeitungsschritt.

### **Irgendwann stoßen selbst fortschrittliche Datenbanken an ihre Grenzen**

Um aber später aus diesen Rohdaten relevante Informationen extrahieren zu können und daraus Wissen und Verständnis für Produkte und Prozesse abzuleiten, reichen zehn Stunden Datenaufzeichnungen nicht aus. Damit unbekannte Muster und Zusammenhänge zwischen verschiedenen Variablen sichtbar werden können, sind schnell die Daten eines kompletten Maschinenbetriebsjahrs nötig. Aus Millionen Zeilen werden Milliarden Zeilen. Aber irgendwann stoßen selbst fortschrittliche Datenbanken an ihre Grenzen. Mit zunehmender Speichergröße verlangsamen sie sich rapide. Die MTU-Informatikerinnen Dr. Galina Baader und Dr. Sonja Hecht arbeiten deshalb an einem Turbo.

„Damit wir die Daten weiterhin handhaben können, müssen wir den Aufbau des Speichers komplett neu denken“, sagt Baader. „Wir müssen es schaffen, die Daten so zu speichern, dass diese auf leistungsstarke Weise abgerufen werden können und möglichst wenig Speicherplatz benötigen“. Der Weg dorthin ist lang – und dennoch führt er über eine Abkürzung: Anstatt in Zeilen, wollen die Entwicklerinnen künftig in Spalten denken. „In einer Spalte stehen meist homogene Daten, die sich mit einem geeigneten Algorithmus deutlich komprimieren lassen“, erklärt die Big Data-Spezialistin. Das Ergebnis sind sehr kompakte Dateien. Abhängig vom konkreten Anwendungsfall sind diese um den Faktor vier bis zehn kleiner als bisherige Speicherlösungen.

### **Spaltenperspektive und Parallelisierung machen Datenspeicherung effizient**

Die Daten spaltenweise abzuspeichern hat noch weitere Vorteile. Analysiert ein Datenanalytist beispielsweise den Temperaturverlauf, so muss der Rechner nur die dafür zutreffende Spalte einlesen. Alle anderen Spalten kann er ignorieren. „Der Rechner stößt sehr schnell und vor allem zielgerichtet zu genau jener Stelle vor, an der die für den jeweiligen Task benötigten Daten liegen“, sagt Baader.

Durch diese Art der Datenspeicherung können mittels Parallelisierung dann auch sehr große Datenmengen gleichzeitig abgearbeitet werden. Während ein Prozess die Daten aus einem





**Überblick behalten** — Mit einer besonderen Art der Datenspeicherung ermöglichen die beiden Informatikerinnen ihren Kolleg:innen aus der Datenanalyse und Fertigung, die Daten besser in Muster und Zusammenhänge setzen zu können.

Zeitraum verarbeitet, prüft ein anderer Prozess bereits die Daten aus einem anderen Zeitraum – theoretisch kann eine Vielzahl solcher Prozesse gleichzeitig ablaufen und die Prozessgeschwindigkeit um ein Vielfaches beschleunigen. Der Fachbegriff hinter der Spaltenperspektive lautet Parquet-Format. Und „Record-shredding-and-assembly“ heißt der Algorithmus, der die verschachtelten Datenstrukturen dann in Bruchteilen von Millisekunden zerlegt und wieder zusammenfügt. So wird die MTU Rechenleistung sehr effizient verwendet. „Abhängig vom konkreten Anwendungsfall können wir die Laufzeit eines Algorithmus von mehreren Stunden auf eine Stunde reduzieren“, sagt Baader.

### **Mustererkennung aus Maschinendaten, statistischen Annahmen und Erfahrungswerten**

Diese Stufe ist deshalb so wichtig, weil sie für Baaders und Hechts Kolleg:innen aus der Datenanalyse den Schritt in eine neue Welt ermöglicht. Plötzlich kommen sie in die Lage, das sprichwörtliche große Ganze der Maschinenbetriebsdaten zu analysieren. Nicht mehr nur kleinere Ausschnitte. „Für eine echte Mustererkennung sind wir auf die Werte aus längeren Zeiträumen angewiesen“, sagt Informatikerin Hecht. In Extremfällen aus mehreren Jahren.

Wegen der steigenden Komplexität von Triebwerkskomponenten wird auch deren Produktion immer komplexer. „Die schlussendliche Qualität eines Bauteils hängt ganz maßgeblich von den Wechselwirkungen der einzelnen Produktionsschritte ab“, erklärt Hecht. Was, wenn sich Maschinendaten, statistische Annahmen sowie Erfahrungswerte zu belastbaren Prognosen vernetzen ließen? Dann wäre eine datengetriebene Vorhersage der Produktqualität geschaffen, eine echte Predictive Quality.

### **Prognosefähigkeit liefert Fertigungsingenieur:innen Einblick in bislang unsichtbare Zusammenhänge**

„Gibt es vielleicht an einem bestimmten Fertigungsschritt eine

bestimmte Abhängigkeit zwischen Druck, Drehmoment und Temperatur, die sich womöglich erst Fertigungsschritte später negativ in einer Qualitätskennzahl niederschlägt?“, fragt Hecht. Relevante Werte wie mit einer digitalen Schere aus den Datensätzen geschnitten, als Muster extrahiert und in Dashboards visualisiert, geben den Fertigungsingenieur:innen unmittelbar an ihrer Linie Einblick in bislang unsichtbare Zusammenhänge. „Sie könnten einem möglichen Fehler bereits zu einem Zeitpunkt gegensteuern, an dem sie ihn noch nicht einmal ahnen können.“

Analog werden Prognosen zu den Verläufen von Werkzeugverschleiß denkbar. Triebwerksbauteile sind hochwiderstandsfähig – leider auch gegenüber den Fräs Werkzeugen, die sie herstellen. Um die geringen Fertigungstoleranzen von Triebwerksbauteilen nicht zu gefährden, sind die Werkzeuglaufzeiten stets mit einem gewissen Materialpuffer versehen. Besser ausgenutzte Restlebensdauern könnten den Fertigungsfluss spürbar verbessern, weil die zeitaufwändigen Werkzeugwechsel seltener werden. Zudem sind Werkzeugkosten im Triebwerksgeschäft ein echter Kostenfaktor.

### **Hardware-Rückgrat: High-Performance Computing (HPC) im MTU-Rechenzentrum**

Beim Aufbau der neuartigen Datenspeicher und Analysetools spielt den beiden Informatikerinnen ein MTU-Spezifikum in die Hände. „Gerade in den Disziplinen Aerodynamik und Strukturmechanik setzen die Triebwerksentwickler:innen umfangreiche Simulationen ein“, sagt Hecht. Dafür ist enorme Rechenpower im MTU-Rechenzentrum nötig.

Auf dem dort vorhandenen High-Performance-Computing-Cluster können nun auch Datenanalysealgorithmen laufen, ohne eigens eine zweite Rechenumgebung aufbauen zu müssen. „Das ist natürlich aus der IT-Infrastrukturperspektive unglaublich attraktiv.“



40 Jahre leistete die MTU-Messdatenbank Entwicklerinnen und Ingenieure wertvolle Dienste. Jetzt läuft der großangelegte Aufbau der Nachfolgegeneration.

## Drehscheibe für Triebwerkstestdaten

Um das Jahr 1980 stecken bei der MTU Aero Engines einige Triebwerksentwicklerinnen und Softwareentwickler die Köpfe zusammen. Zwei für ihre Arbeit ganz wesentliche Gegebenheiten sind neu: Die Leistung von Computern hat gerade einen Sprung hingelegt und erhält umfangreichen Einzug in die Triebwerksentwicklung. Auch bei der Sensorik in den Prüfständen steht ein Generationenwechsel an. Noch nie zuvor konnten Triebwerksdaten derart fein aufgezeichnet werden. Jetzt braucht es eine Datenbank, die beides zusammenführt.

Die Wahl der Triebwerksentwicklerinnen und Softwareentwickler fällt auf eine File-Struktur mit Binärcontainern. Computerprogramme verwenden das Format, um Daten strukturell für die weitere Verarbeitung auszurichten oder bestimmte Datenfelder, die kleinste Einheit eines Datensatzes, optimiert zu speichern. Der entscheidende Nachteil, erklärt IT-Projektleiter und Entwickler Dr. Fabian Bayerlein: „Das ist eine sehr fragmentierte Datenhaltung und es gehen mitunter Tage für übergreifende Analysen der Triebwerkstestläufe drauf.“

Natürlich: Zusammen mit dem technologischen Fortschritt ist die MTU-Messdatenbank in all den 40 Jahren mitgewachsen. „Spei-

cherkapazitäten wurden massiv ausgebaut, Zugriffsgeschwindigkeiten vervielfacht, neue Programmierschnittstellen implementiert“, sagt Bayerlein. Ein weiterer Nachteil aber blieb: „Aufgrund der damals gewählten Architektur lassen sich die Messdaten nur sehr eingeschränkt mit übergeordneten Metadaten verbinden.“

### **Sekundenschneller Messwert-Zugriff von allen Fachdisziplinen**

Genau diese Verknüpfung von Daten ist für die moderne Triebwerksentwicklung aber geradezu zentral. Berechnungsingenieur Michael Kern aus der Triebwerksleistungsrechnung gibt ein Beispiel: An einer Turbine etwa lassen sich einige physikalische Größen unmittelbar messen, zum Beispiel der Druck am Eintritt der Komponente. „Andere Größen, wie etwa der thermische Wirkungsgrad (ein Maß für die Effizienz) eines Triebwerks, werden hingegen in Analyserechnungen ermittelt. Diese Analysen basieren auf komplexen Triebwerksmodellen, in denen sehr viele Messwerte eingelesen werden.“ Hunderte, manchmal tausende Messwerte müssten die Entwickler:innen in Kontext setzen. „In diesen Zusammenhang lassen sich die Messwerte im bisherigen Messdatenmanagement nur mit sehr großem Aufwand setzen – weil sie eben nur mit sehr großem Aufwand zugänglich sind.“

### **Interdisziplinäre Zusammenarbeit**

*Für die Etablierung des standardisierten Versuchsdatenmanagements hat Fabian Bayerlein ein komplettes Team aus unterschiedlichsten Fachbereichen zur Unterstützung.*



Zusammen mit Kern hat Bayerlein deshalb mit der Etablierung eines standardisierten und zentralen Versuchsdatenmanagements begonnen. Unter dem Projektnamen MDM2020, kurz für „Messdatenmanagement 2020“, arbeiten sie fachübergreifend und interdisziplinär mit einer ganzen Mannschaft an nicht weniger als einem kompletten Neuaufbau des MTU-Messdatenmanagements.

Möglichst unkompliziert sollen auf der einen Seite die gemessenen Werte aller Test- und Prüfläufe hineinfließen – und die Entwickler:innen auf der anderen mit ihren bestehenden Tools möglichst unkomplizierten Zugriff darauf erhalten. Solche IT-technischen Lösungen unterstützen die Effizienz von Auslegungsprozessen und damit die Wettbewerbsfähigkeit der MTU. Das meiste muss die Mannschaft von Grund auf aufbauen. Eine Blaupause, an der sich die Entwickler:innen orientieren könnten, gibt es nicht.

### **Standardisierung trifft auf individuelle Tools in der Triebwerksentwicklung**

Ihr Ansatz stellt die jahrzehntelange Herangehensweise auf den Kopf. „Anstatt dass jeder Fachbereich direkt auf die File-Struktur zugreift, arbeiten wir an einer serverbasierten Datenbank mit sehr vielfältigen Interfaces für die Metadatensuche“, erklärt Bayerlein. Das Grundgerüst bildet ein etablierter Standard auf dem eine Open-Source-Software aufsetzt. „Es bietet einerseits die solide Basis, andererseits auch die Möglichkeit, die gerade in der Triebwerksentwicklung sehr individuellen Bedarfe aus den Fachabteilungen von der Triebwerksleistungsrechnung über die Aeroelastik bis zur Strukturmechanik anzudocken.“

In welchen Messkanälen eines bestimmten Entwicklungstriebwerks wurden bei Testläufen Temperaturen von 500 Grad Celsius überschritten? Welche Messreihen wurden mit einer bestimmten Kombination aus Hard- und Software und mit welcher Sensorik durchgeführt? Auch die klassische Messdatensuche etwa

für langfristige Leistungsbeurteilungen im MRO-Bereich wollen Bayerlein und das Team über die gleichen Schnittstellen kanalisieren. Wie verändern sich bestimmte Werte eines bestimmten Triebwerks über dessen Lebensdauer? Und wie hoch war in dieser Lebensdauer der Anteil von besonders hohen Drehzahlen? Wert für Wert wollen die Entwickler:innen ein immer engmaschigeres Netz aus Wirkungsgraden, Relationen und Verhältnissen der Messwerte knüpfen – und daraus wertvolle Rückschlüsse in die Auslegung der nächsten Triebwerksgeneration mitnehmen.

### **Datendrehscheibe für OEM- und MRO-Geschäft**

Bisweilen führt der Weg dorthin über die Straße, auch in der Luftfahrt. Beim Aufbau des Messdatenmanagements kooperiert die MTU unter anderem mit deutschen Automobilherstellern. Ein industrieübergreifendes Konsortium arbeitet bereits seit einigen Jahren mit standardisierten Systemen des Messdatenmanagements. „Wir profitieren von bereits implementierten und damit auch erprobten Features, die wir auf unser System hin adaptieren“, sagt Bayerlein. Die Partner wiederum erhalten Gelegenheit, die spezifischen MTU-Features für ihre Anwendungen zu nutzen.

Wie eine Datendrehscheibe müsse man sich das MDM2020 vorstellen. „Wenn zum Beispiel bei der MTU Maintenance Zhuhai ein überholtes Triebwerk den Abnahmelauf beendet, sollen die Daten ihren Nutzen etwa bei den Kolleg:innen der Reparaturentwicklung bei der MTU Maintenance Hannover ausspielen oder bei den Entwickler:innen, die in München an der nächsten Triebwerksgeneration arbeiten.“

Aktuell läuft die Konstruktion des Gerüsts für eine solche Datendrehscheibe. Im Jahresverlauf 2022 soll das neue Messdatenmanagement in den Betrieb gehen und die Nachfolge des Vorgängers antreten. Würden sich die Bedarfe ergeben, sagt Bayerlein, lasse sich die Architektur auch durchaus um Anwendungen jenseits von Testing und Triebwerksentwicklung erweitern.

WEITERE ARTIKEL AUS DIESER SERIE FINDEN SIE ONLINE:

---



Ganze Berge an Dokumenten oder leere Seiten, weil sich zu der Fragestellung nichts Brauchbares finden lässt: Dokumentenrecherche war bisher ein aufwändiges Unterfangen. Je konkreter Fragestellungen werden, desto aufwändiger wird die Suche nach den Antworten – und kostet Entwickler:innen viel Zeit. Thomas Piprek entwickelt nun ein Programm, das Dokumente vorsortiert, klassifiziert und zuordnet – mit Hilfe von Künstlicher Intelligenz.

## Dokumentenrecherche mit Künstlicher Intelligenz

Wieder und wieder ruft die KI-Software bekannte Muster ab und wendet sie auf neue Entscheidungsfälle an. So lernt sie – und wird immer besser.

DEN KOMPLETTEN ARTIKEL FINDEN SIE ONLINE:

---

Dokumentenrecherche mit  
Künstlicher Intelligenz  
[www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)



In den Produktionshallen der MTU finden unzählige Arbeitsschritte statt. Vor allem hochkomplexe Bauteile mit neuen Design-Aerodynamiken sind in ihrer Herstellung besonders schwierig. Eine Vielzahl an Prozessen und Abläufen muss dabei organisiert werden. Ralf Teufel entwickelt dafür einen "Mastermind". Das Ziel: ein System, das sämtliche Abläufe und Prozesse in Fertigung und Produktion überblickt – und automatisch steuern kann.

## Mastermind für die MTU-Produktion

Mit der Einführung eines einheitlichen Manufacturing Execution System (MES) soll die komplette MTU-Produktion zukünftig über ein Leitsystem dirigiert werden.

DEN KOMPLETTEN ARTIKEL FINDEN SIE ONLINE:

---

Mastermind für die  
MTU-Produktion  
[www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)





## Die Zukunft vorhersagen

Mit der neuen Advanced Proposal Calculation 2.0 hat die MTU Maintenance ein digitales Zukunftsprojekt gestartet, von dem Airlines und Instandhalter gleichermaßen profitieren.

Wer Triebwerke möglichst kostengünstig betreiben will, sollte am besten hellseherische Fähigkeiten mitbringen. Über 10, 12, manchmal sogar 15 Jahre, laufen die Instandhaltungsverträge üblicherweise. Jahre, in denen viel passieren kann. Der Ölpreis steigt oder fällt. Neue Flugzeuge ersetzen ältere. Materialpreise schnellen wegen Engpässen plötzlich in die Höhe. Eine Kalkulation, die am Anfang noch aufgeht, kann sich zum Ende hin ins Gegenteil drehen.

### **Datensätze, künstliche Intelligenz und Heuristiken ermöglichen neuartige Ansätze für zuverlässige Prognosen**

Als Hellseher arbeitet Claus Bullenkamp nicht, sondern als Senior Manager Engine Programs bei der MTU Maintenance Hannover. Beides hat aber mehr miteinander zu tun, als auf den ersten Blick ersichtlich ist. Glaskugeln gehören jedoch nicht zu Bullenkamps Arbeitsausstattung. Stattdessen Software, um aus Datensätzen, künstlicher Intelligenz und Heuristiken die Berechnung von Szenarien und den Wahrscheinlichkeiten dahinter zu ermöglichen.

Denn um sie dreht sich bei den komplexen Angebotskalkulationen im MRO-Geschäft so gut wie alles. Und alles steht und fällt mit den Wahrscheinlichkeiten, zu denen diese Szenarien in ei-

nem Triebwerksleben eintreten. „Der Ersatzteilmarkt schwankt enorm – und damit auch die Verfügbarkeit und Preise von für die Instandhaltung unverzichtbaren Komponenten und Materialien“, erklärt Bullenkamp. Könnte es womöglich sinnvoller sein, ein Triebwerk anstatt nach zehn bereits nach acht Jahren in die Generalüberholung zu schicken? Gut möglich, dass die Rechnung aufgeht. Zum Beispiel: „Wenn bestimmte Materialkosten, die wiederum einen beachtlichen Teil der Instandhaltungskosten ausmachen, innerhalb der nächsten zwei Jahre mit einer hohen Wahrscheinlichkeit massiv ansteigen.“

Die Kalkulation lässt sich auch in die andere Richtung aufstellen. Wenn beispielsweise absehbar würde, dass aufgrund eines Flottenwechsels einer großen Airline bald zahlreiche Triebwerke eines bestimmten Typs auf den Markt kommen. „Dann könnte man vorhandene Restlebensdauer mit vertretbarem Risiko ohne viel Puffer bis zum Ende ausnutzen – und wäre wohl kostengünstiger unterwegs.“ Und für den unwahrscheinlichen Fall, dass doch alles anders kommt? „Dann wären wir über die MTU Maintenance Lease Services, einem Joint Venture mit der japanischen Sumitomo Corporation, in der Lage, dem Kunden unkompliziert ein Ersatztriebwerk zur Verfügung zu stellen.“



**Effizientere Instandhaltung** — Dank der neuen Prognosegüte durch das APC 2.0 kann die MTU die operative Planung verbessern und die Materialbeschaffung effizienter gestalten. Das nutzt MTU und Airlines zugleich.

### Alleinstellungsmerkmal: Das MTU-Data Engineering koppelt Daten aus dem Flugbetrieb mit dem Know-how jahrzehntelanger Triebwerksentwicklung

Hätte. Könnte. Wäre. Und dabei ist die lange Liste der Einflussfaktoren noch nicht zu Ende. Wann im Triebwerksleben welche Reparaturen nötig werden, ist abhängig vom spezifischen Flugprofil. Davon, ob das Flugzeug vor allem verschleißintensive Kurzstrecken fliegt. Oder pro Flug drei, vier Stunden im verschleißarmen Reiseflug dahingleitet. Oder die Jets vor allem in Wüstengebieten unterwegs sind. Denn dort wirkt die sandhaltige Luft wie feinstes Schmirgelpapier.

An dieser Stelle kommt ein entscheidender Pluspunkt der MTU ins Spiel. „Wir können nicht nur unser Wissen über die Daten aus dem tagtäglichen Triebwerksbetrieb einbringen, sondern auch das gesamte Know-how aus jahrzehntelanger Triebwerksentwicklung.“ Belastbar in Zusammenhang gesetzt und ange dockt ans Engine Fleet Management der MTU Maintenance für die optimale Shop-Visit-Terminierung entsteht ein echtes Alleinstellungsmerkmal. „Das kann in dieser Ausprägung und in dieser Geschwindigkeit niemand anderes in der Branche“, ordnet Bullenkamp ein.

### Ausgefeilte Heuristiken und Algorithmen statt Airlines mit Weitblick für die Planung ihrer Instandhaltungstätigkeiten aus

Das Projekt, in dem alles wie in einem riesigen Daten-Hub zusammenfließt, heißt APC 2.0. Die Abkürzung steht für Advanced Proposal Calculation. 2.0 bedeutet: Hier kommt die nächste Generation. „Wir haben uns schon mit der Vorgängerversion in der Branche eine sehr gute und erfolgreiche Position geschaffen“, sagt der Senior Manager. Jetzt läuft die Konstruktion der Ausbaustufe. Mit Big Data aus den MRO-Daten, eingeordnet und bewertet von künstlicher Intelligenz. Mit ausgefeilten Heuristiken und Algorithmen, gespickt mit Entwickler- und MRO-Know-how sowie Marktdaten aus allen Ecken der Welt. Wie durch Ferngläser schaut Bullenkamp damit ins Marktumfeld der Zukunft. Die beste Prognose für das realistischste Szenario zu berechnen, darum geht es. Und darum, sie in Echtzeit an die sich ständig ändernden Gegebenheiten anzupassen.


Die APC 2.0 nutzt den Fluggesellschaften und der MTU Maintenance gleichermaßen. „Wir sitzen da sprichwörtlich im selben Boot. Oder, um im Bild zu bleiben, im gleichen Flieger“, sagt Bullenkamp. Airlines profitieren von einer deutlich verlässlicheren Angebotskalkulation, die bald anstatt Wochen, wie im Triebwerksgeschäft bisher so üblich, nur mehr Tage benötigt. Im schnellen Luftfahrtgeschäft ein echter Vorteil. Mit der zweiten Generation des Projekts hat die Angebotskalkulation auch einen gänzlich neuen sogenannten „Point of Truth“ – die Daten sind demnach so qualitativ hochwertig und verlässlich, dass mit ihnen ein deutlich belastbarer Blick in die Zukunft möglich wird. Die Risikostreuung ist geringer.



**Blick in die Zukunft** — Claus Bullenkamp kann mit Hilfe von KI zuverlässigere Prognosen für realistische Szenarien treffen und die Airlines so bei der Planung ihrer Instandhaltungstätigkeiten mit Weitblick ausstatten.

### Im Jahresverlauf 2023 soll die APC 2.0 operativ gehen

Die MTU wiederum ist dank der neuen Prognosegüte aus dem Zusammenspiel des Engine Fleet Managements und der APC 2.0 in der Lage, die Effizienz bei der Materialbeschaffung zu erhöhen. Aber vor allem: die operative Planung zu verbessern.

Das APC 2.0 soll in Phasen für einzelne Anwendungen im Jahresverlauf 2023 operativ gehen. Das Modell dahinter soll skalierbar für weitere Triebwerkstypen werden. 

#### AUTOR:



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

# Erfolgsjahr bei der MTU Maintenance

*Grundsteinlegung, Portfolioerweiterung und Standortausbau – das Jahr 2021 kann sich bei der MTU Maintenance sehen lassen. Die Highlights im Überblick.*

**Autorin:** Victoria Nicholls







In den letzten Jahren hat die MTU Aero Engines ihr Netzwerk kontinuierlich ausgebaut und schreitet bei Standortausbau, neuen Programmen und Kompetenzerweiterungen in großen Schritten voran. Auch zahlreiche Verbesserungsinitiativen rund um Operations, Digitalisierung und Effizienz verfolgt sie konsequent. Trotz der Covid-19-Krise ist die MTU Maintenance auf den für 2022/23 erwarteten Hochlauf von Wartungs-, Reparatur- und Überholungsleistungen (MRO) daher gut vorbereitet.

Eine Erholung zeichnet sich vor allem beim inländischen und regionalen Luftverkehr ab, weshalb zunächst Narrowbody-Triebwerke wieder verstärkt zum Einsatz kommen dürften. Hier ist die MTU Maintenance bestens aufgestellt, da sie sich mittlerweile an drei Standorten weltweit Instandhaltungskompetenzen für die Triebwerkstypen CFM56 und V2500 aufgebaut hat. Zudem setzen Fluggesellschaften im Zuge der Reaktivierung ihrer Flotten nun auf jüngere Triebwerkstypen. Auch hier leistet die MTU Maintenance volle Unterstützung: Drei Standorte des MTU-Netzwerks bieten volle Kapazitäten für Demontage, Montage und Tests für den erfolgreichen PW1100G-JM-Antrieb. 2019 hat zudem die LEAP-Familie bei der MTU Maintenance Zhuhai Einzug erhalten. Seither hat der Standort im chinesischen Perlflossdelta die Kapazitäten mit Hochdruck erhöht. So führt das On-Site-Team mittlerweile etwa Boroskop-Inspektionen durch.

Darüber hinaus erlebte der Frachtverkehr in der Krise sogar einen regelrechten Boom. Für Triebwerke wie das PW2000 und das CF6-80C2 verzeichnete die MTU Maintenance eine hohe Servicenachfrage. Es wird erwartet, dass die MTU Maintenance 2022/23 früher als der übrige Markt zum Vor-Covid-Niveau zurückkehrt. Diese positiven Aussichten verdankt sie ihrem Produktmix und ihrem Angebot an Alternativlösungen wie beispielsweise dem Einsatz geprüfter Gebrauchtteile.

Vor allem dieses Jahr hatte die MTU Maintenance an ihren verschiedenen Standorten gleich mehrere Meilensteine zu feiern – darunter Grundsteinlegungen, Portfolioerweiterungen und Standortexpansionen. ✈️

#### AUTORIN:



**Victoria Nicholls** berichtet innerhalb der MTU-Unternehmenskommunikation über Themen wie Triebwerks-MRO, Leasing und Asset Management sowie internationale Markttrends.

MTU Maintenance Hannover

## 9.000 Shop Visits erreicht

Die MTU Maintenance Hannover feierte im Juli 2021 die Auslieferung des 9.000sten Triebwerks, einem CFM56-7B der Saudi Aramco-Flotte. Die MTU Maintenance hat die CFM56-Familie seit 2000 in ihrem Portfolio. Als Nummer eins der unabhängigen CFM56-Serviceanbieter weltweit hat sie in den vergangenen zwanzig Jahren mit über 10 Prozent Marktanteil weit über 2.000 Triebwerke dieser Familie instandgesetzt.

MTU Maintenance Berlin-Brandenburg

## 30 Jahre Erfolgsstory

P&WC Customer Service Centre Europe

## MRO für PW307

Auch das Pratt & Whitney Canada Customer Service Centre Europe, kurz CSC, ein Gemeinschaftsunternehmen der gleichberechtigten Partner MTU Maintenance Berlin-Brandenburg und Pratt & Whitney Canada (P&WC), konnte sich im September über ein neues Mitglied im Triebwerksportfolio freuen: Das PW307. Die MTU Aero Engines fertigt bereits seit 1985 PW300-Triebwerksteile. Das CSC verwaltet die Serviceanträge für diese Triebwerke.

EME Aero

## Neues GTF-Familienmitglied an Bord

MTU Maintenance Canada

## Neues Zuhause

Mit dem diesjährigen Umzug von Richmond nach Boundary Bay in Delta, British Columbia, und der damit einhergehenden erfolgreichen Umgestaltung eines ehemaligen Hubschrauberinstandhaltungsbetriebs, stehen der MTU Maintenance Canada künftig rund 60 Prozent mehr Platz zur Verfügung. In den vergangenen zwei Jahren hat sie ihr Portfolio um die erfolgreichen V2500 und CF6-80C2 Triebwerkstypen erweitert.

MTU Maintenance Serbia

## Grundsteinlegung

MTU Maintenance Dallas

## Mehr Platz für Kundenbedürfnisse

Im Juni 2021 gab die MTU Maintenance den Start ihrer neuen Produktfamilie ON-SITE<sup>Plus</sup> bekannt und erweiterte damit ihr Portfolio an kundenspezifischen Servicelösungen. Der größte ON-SITE<sup>Plus</sup>-Standort ist die MTU Maintenance Dallas. Den verfügbaren Dockplatz hat die MTU Maintenance Dallas erst vor Kurzem um 3.700 m<sup>2</sup> erweitert. Nun können Triebwerke entsprechend den Kundenbedürfnissen sowohl kurz- als auch langfristig gelagert werden.

MTU Maintenance do Brasil

## FAA Zulassung für mehr Schub

2021 gab es in Ludwigsfelde gleich mehrere Gründe zum Feiern: Die MTU Maintenance Berlin-Brandenburg blickt auf 30 Jahre Bestehen zurück und hat allein in den vergangenen fünf Jahren über 400 Kunden betreut. Sie verfügt über das vielfältigste Produktportfolio des gesamten MTU Maintenance-Netzwerks. Dies wurde 2021 um einen weiteren Triebwerkstyp erweitert: Im Juli wurde das erste CFM56-7B-Triebwerk eingelastet.



Im August wurde das erste PW1500G-Triebwerk im EME Aero Shop in Betrieb genommen. Dessen Einführung markiert einen wichtigen Meilenstein in der kurzen Geschichte des Joint Ventures von MTU und Lufthansa Technik. Für das neue GTF-Familienmitglied ist EME Aero bestens ausgestattet: In einem extra für den Standort konzipierten Montagesystem kann jeder Triebwerkstyp der GTF-Familie überholt werden.

MTU Maintenance Zhuhai

## Neu dabei: PW1100G-JM

Für die MTU Maintenance Zhuhai gab es im September 2021 gleich zwei Highlights zu verkünden: Das Joint Venture zwischen der MTU und China Southern Airlines Company Limited vollzog den Spatenstich für den Bau eines neuen Standortes und lastete das erste PW1100G-JM ein. Die MTU Maintenance Zhuhai ist damit der dritte MTU-Standort, der für diesen Triebwerkstyp über die vollen Kapazitäten für (De-)Montage und Tests verfügt.

Am 5. Juli 2021 gab es den Spatenstich im serbischen Nova Pazova für die MTU Maintenance Serbia. Am neuen Standort in der Nähe von Belgrad wird sich die 100-prozentige Tochtergesellschaft der MTU ausschließlich mit der Reparatur von zivilen Triebwerksteilen befassen. Die Aufnahme des Betriebs plant die MTU für Ende 2022, die Ausbildung von Fachkräften wurde bereits gestartet.

Airfoil Services Sdn. Bhd.

## Standort- erweiterung

Im April 2021 konnte Airfoil Services Sdn. Bhd., ein Joint-Venture zwischen MTU Aero Engines und Lufthansa Technik, seine Standorterweiterung um 5.200 Quadratmeter abschließen. Damit steigt die jährliche Reparaturkapazität von 650.000 auf 900.000 Teile. Das Werk nahe Malaysias Hauptstadt Kuala Lumpur ist auf die Reparatur von Triebwerksschaufeln für Niederdruckturbinen und Hochdruckverdichter insbesondere der Modelle CF34, CF6, CFM56 und V2500 spezialisiert.

Seit letztem Jahr betreut der brasilianische MTU-Standort, der sich in der Vergangenheit auf die Instandhaltung von Industriegasturbinen spezialisiert hatte, nun auch Flugzeugtriebwerke – für die Typen CF34, CF6, CFM56, GE90 und V2500 erlangte do Brasil bereits die ANAC- und EASA-Zertifizierung und führte erste Vor-Ort-Aktivitäten an Triebwerken durch. Ende dieses Jahres soll dann auch die FAA-Zulassung folgen.

MTU Maintenance  
Lease Services

## Triebwerksleasing auf dem Vormarsch

In der Covid-19-Pandemie und der damit einhergehenden Krise der Luftfahrtbranche ist Asset-Management für Leasinggeber noch interessanter geworden. Um die derzeit am Boden befindlichen Flotten wieder einsatzbereit zu machen, erwartet die Technikteams einiges an Arbeit – das zeigt sich aktuell bei der MTU Maintenance in einer hohen Nachfrage nach On-Site- und technischen Asset-Management-Services.

# Die weltweit schnellsten Paketboten



*Der Online-Handel sorgt für einen Paket-Boom, von dem die Luftfracht profitiert. Schnell geliefert wird mit Großraumfrachtmaschinen und verstärkt auch mit kleineren Jets.*

**Autorin:** Nicole Geffert

Diese Luftfracht ist exklusiv: 247 Sportpferde wurden an Bord einer speziell ausgebauten Boeing 777-Frachtmaschine mit insgesamt acht Sonderflügen vom belgischen Flughafen Lüttich zu den Olympischen Spielen nach Tokyo geflogen – inklusive tonnenschwerem Equipment, Verpflegung sowie Pferdepfleger:innen.

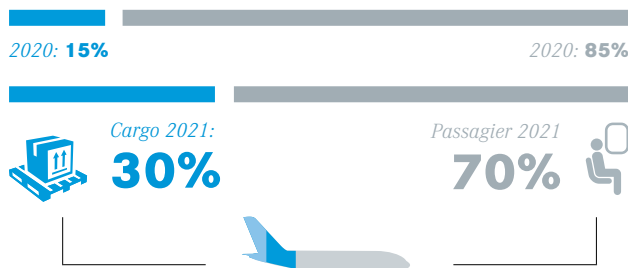
Wenn es darum geht, hochwertige und zeitsensible Waren zu transportieren, hat das Flugzeug gegenüber dem Schiff als Transportmittel die Nase vorn. Das wurde einmal mehr deutlich, als im März 2021 die „Ever Given“ im Suezkanal auf Grund lief und die wichtige Wasserstraße zwischen Asien und Europa für sechs Tage blockierte – was den weltweiten Handel empfindlich störte. Währenddessen brummte die Luftfracht – und die Branche ist weiter im Steigflug, während sich die Passagierluftfahrt erst langsam von den Folgen der Covid-19-Pandemie erholt.

„Das Cargo-Geschäft spielt aktuell für viele Airlines eine deutlich wichtigere Rolle als vor der Pandemie“, sagt Marko Niffka, Experte für Business Development – MRO bei der MTU Aero Engines. Laut der Internationalen Luftverkehrsvereinigung IATA wird die Luftfracht 2021 rund ein Drittel der globalen Umsätze der gesamten Luftfahrtindustrie erzielen. Zum Vergleich: Vor der Pandemie waren es 10 bis 15 Prozent.

Weitere Prognosen stimmen zuversichtlich: Die globale Luftfrachtbranche werde im Jahr 2021 fast die Frachtmenge des Rekordjahres 2018 erreichen, so die IATA, die für das laufende Jahr mit einem Aufkommen von 63,1 Millionen Tonnen rechnet. 2018, im bislang für die Luftfracht nach Aufkommen besten Jahr ihrer Geschichte, wurde ein Umschlag von 63,5 Millionen Tonnen



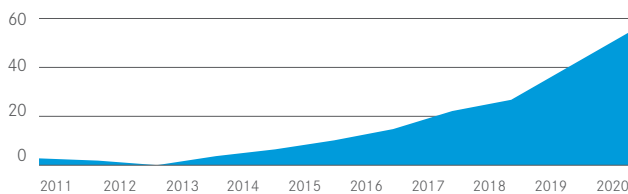
### AUFTEILUNG GLOBALE UMSÄTZE DER LUFTFAHRT-INDUSTRIE CARGO VS. PASSAGIER



**Schneller ans Ziel** — Der durch die Pandemie rasant angestiegene Online-Handel hat dem Frachtgeschäft einen ordentlichen Boom gegeben: Wer im Internet bestellt, will nicht wochenlang auf die heiß begehrte Ware warten. Es soll fix gehen mit der Lieferung – da hat das Flugzeug als Transportmittel die Nase vorn.

Quelle: International Air Transport Association (IATA)

### ANSTIEG DER EINGESETZTEN FLUGZEUGE IN DER LUFTFRACHT PRO JAHR GEMESSEN AN 2010 (IN PROZENT)



**Luftfracht auf dem Vormarsch** — Seit 2010 ist der Anteil der im Cargo-Segment eingesetzten Narrowbodies und Widebodies um knapp 50 Prozent angestiegen.

Quelle: Cirium

erzielt. 2021 werden die Frachttonnenkilometer (CTKs) voraussichtlich um 13,1 Prozent gegenüber 2020 steigen – angetrieben durch ein Wirtschaftswachstum in Handel und Produktion. So prognostiziert die Welthandelsorganisation WTO für dieses Jahr ein globales Wachstum von acht Prozent gegenüber 2020.

### E-Commerce beflügelt den Markt

Dabei ging der weltweite Export im Frühling 2020 zunächst zurück. Niffka: „Rund 50 Prozent der Luftfracht wurden bis zur Pandemie nicht in Frachtmaschinen transportiert, sondern als Bellyfracht, also als Beiladefracht, in Passagiermaschinen.“ Da wegen der Pandemie vor allem viele Langstreckenverbindungen eingestellt werden mussten, fehlen diese Kapazitäten für die Luftfracht, was wiederum die Transportkosten nach oben schnellen ließ. Gleichzeitig stieg die Nachfrage nach einer schnelleren Auslieferung dringend benötigter Waren.

„Masken, Kittel, medizinisches Gerät und Medikamente mussten vor allem zu Beginn der Pandemie sicher, zügig und zuverlässig transportiert werden“, erläutert Niffka. „Diese Transporte hatten aber nur einen kurzfristigen Effekt. Viel wichtiger sind Treiber, die langfristig den Cargo-Markt beflügeln – allen voran der E-Commerce-Handel, der den Paket-Boom nochmals beschleunigt hat.“

Selbst Konsumenten, die bis zur Pandemie nur selten im Internet bestellt hatten, freundeten sich zunehmend mit dem Online-Shopping an, da Geschäfte und Gastronomie über Wochen und Monate geschlossen waren. Wer im Internet bestellt, will nicht wochenlang auf die heiß begehrte Ware warten. Es soll fix gehen mit der Lieferung, möglichst binnen ein bis zwei Tagen. „Die Luftfrachtlogistiker setzen alles daran, mit schnellen Liefer- und Umschlagszeiten und einem Höchstmaß an Flexibilität und Zuverlässigkeit die pünktliche Zustellung der Güter sicherzustellen“, sagt Daniel Giesecke, Experte für Strategie- und Marktanalysen bei der MTU.

Amazon beispielsweise will die Bestellungen seiner Kunden künftig auch mit eigenen Flugzeugen ausliefern. Bislang hatte der Online-Händler vor allem auf das im Frachtgeschäft weit verbreitete Leasing gesetzt. Anfang 2021 gab er den Kauf von elf Boeing 767-300 für seine Frachterflotte bekannt. Die Maschinen kamen gebraucht von den Airlines Delta und Westjet, die sie angesichts der Krise in der Passagierluftfahrt nicht mehr oder im geringeren Umfang einsetzen.

### Vom Passagierjet zur Frachtmaschine

Die Boeing 767-300ER, eine Version der 767-300 mit größerer Reichweite und zusätzlichem Rumpftank, gehört zu den bewährten Lasteseln der Lüfte, die vor allem die Langstrecken bedienen – wie unter anderem auch die B777-200LR und 747-BF, die B747-400ERF und -400BCF, die McDonnell Douglas MD-11F oder auch die A300-600F von Airbus. Die Vorteile der Widebodies im Frachteinsatz sind ihre Reichweite, Ladekapazität und Betriebskosten. Der Transport der Güter erfolgt sowohl in neu produzierten Frachtmaschinen als auch in ehemaligen, zu Frachtern umgebauten Passagierjets.

„Bisher wurden vor allem Widebodies, wenn sie ihr Soll als Passagierflieger erfüllt hatten, umgebaut, und bekamen dann als Frachtmaschine ein zweites Leben“, sagt Giesecke. „Infolge des gestiegenen weltweiten E-Commerce-Handels setzen Logistikunternehmen aber auch zunehmend auf umgebaute Narrowbody-Flugzeuge, also Kurz- und Mittelstreckenjets. Denn die werden schneller beladen und bringen die Ware somit schneller ans Ziel.“

Die kleineren Maschinen übernehmen im Frachttransport eine immer wichtigere Rolle. „Die Waren werden mit einem Widebody von der Zentrale zu einem internationalen Luftfracht-Drehkreuz transportiert und dort in kleinere Frachtflugzeuge umgeladen,

die dann kleinere Zielflughäfen ansteuern. Das spart enorm viel Zeit gegenüber der Alternative, die Ware für den Rest der Strecke per Lastwagen zu transportieren“, erläutert Niffka.

### Kunden erwarten immer kürzere Lieferzeiten

Keine Frage, Narrowbodies sind im boomenden Cargo-Geschäft im Kommen. Passagierjets wie die Boeing 737-800 oder der Airbus A321 werden zu Frachtmaschinen umgebaut. Lufthansa Cargo beispielsweise baut so die eigenen Frachtkapazitäten aus. Ab 2022 setzt das Unternehmen zwei zu Frachtern umgebaute Passagiermaschinen vom Typ A321 auf Kontinentalstrecken in Europa ein. Die Mittelstreckenjets erhalten dafür Frachttüren, um Container auch auf dem Hauptdeck transportieren zu können. Da der Kunde immer kürzere Lieferzeiten erwarte, steige auch inner-europäisch der Bedarf nach Flugverbindungen in der Luftfracht, so das Unternehmen. Mit dem A321 könnten 28 Tonnen pro Flug transportiert werden – also erheblich größere Frachtmengen als in den Bellys der Kurzstreckenjets.

Wenn Passagierjets zu Frachtern konvertiert werden, setzen viele Cargo-Unternehmen auf ältere Modelle. Niffka: „Bevorzugt werden Maschinen umgebaut, die circa 15 bis 20 Jahre alt sind. Dann rechnet sich der kostenintensive Umbau.“ Denn einfach nur die Sitze zu entfernen, um Pakete in der Kabine zu stapeln, ist weder effizient noch zulässig. Jets, die für den Passagiertransport zugelassen sind, dürfen in der Regel nicht von heute auf morgen Fracht in der Kabine transportieren. Zudem ist die strukturelle Belastbarkeit eines Passagierflugzeugs geringer als die einer Frachtmaschine. Nicht zu vergessen: Durch die Einstiegtüren für Passagiere passt keine großvolumige Fracht. Große Ladetüren müssen nachgerüstet werden.

### Spezieller Service in der Instandhaltung

Im Frachtbetrieb, wo bevorzugt ältere Baureihen zum Einsatz kommen, fallen die Vorteile moderner Jets oft nicht so ins Gewicht. „Es gibt Strecken, auf denen ältere Modelle sich lohnen, aber auch solche, auf denen neue Maschinen sich rechnen“, erläutert Niffka. Das hängt unter anderem vom Operator und seinem Geschäftsmodell, von der Art der Fracht sowie von einer Vielzahl weiterer Faktoren ab, wie etwa Treibstoffpreis, erzielbare Frachtraten und Gebrauch. „Frachtmaschinen stehen häufig länger am Boden, fliegen oft nur während der Nacht und sind insgesamt weniger in der Luft als Passagiermaschinen“, so Niffka.



**Vom Passagierjet zum Frachtflugzeug** — Amazon Air hat dieses Jahr vier Boeing 767-300 von WestJet erworben, welche derzeit von Passagier- auf Frachtflugzeuge umgerüstet werden. Bei solchen Umbauten spricht man von einer „Conversion“.



**Keine Fracht von heute auf morgen** — Wenn Passagierjets als Frachter eine zweite Karriere starten, müssen vorab aufwändige und kostenintensive Umbauten durchgeführt werden.

Besitzer älterer Flugzeuge mit bewährter Antriebstechnologie müssen in der Instandhaltung allerdings keine Abstriche bei Qualität, Zuverlässigkeit und Sicherheit machen – schließlich zählen im Frachtgeschäft die gleichen hohen Standards wie in der Passagierluftfahrt. Die neuen Dynamiken auf dem Cargo-Markt bringen weitere Anforderungen und Wünsche der Cargo-Kunden mit sich. Bedarfe, die auch die MTU Maintenance sehr gut kennt und sowohl bei Antrieben für klassische Frachter als auch für umgebaute Jets aus dem Narrow- oder Widebody-Segment die passenden Servicelösungen anbieten kann – damit auch künftig alles von Medizintechnik über frischem Fisch bis zum Lieblings-Sneaker schnell und sicher per Flieger verschickt werden kann. ✈️

#### 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 "FRACHTGESCHÄFT":

Zwei MRO-Experten der MTU über Service-Bedarfe im Frachtgeschäft  
[www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)



**Digitalisierung für eine Hightech-Welt** — Durch die Nutzung von Big Data, KI und Automatisierung will die MTU ihre Entwicklung, Fertigung und Instandhaltung auf eine nächste Ebene heben. MTU-CIO Dr. Lutz Seidenfaden und sein Team stellen dafür die Weichen.





# Fernglas in neue Welten

*Gerade für das Triebwerksbusiness birgt die Digitalisierung eine Vielzahl von Chancen – die MTU packt sie an.*

**Autor:** Thorsten Rienth

**Herr Dr. Seidenfaden, was war der Moment in Ihrem Leben an dem Ihnen so richtig bewusst wurde: Die Digitalisierung ist „The Next Big Thing“?**

Dr. Lutz Seidenfaden: Ein Schlüsselmoment war sicherlich mein erster Tag in Singapur, wohin ich einige Jahre vor meiner Zeit bei der MTU gewechselt hatte. „Apps“ waren damals in Europa etwas ganz Neues. Aber in diesem südostasiatischen Stadtstaat organisierten die Leute schon ihr komplettes Leben über die Applikationen auf dem Smartphone. Taxi, Banking, behördliche Services – praktisch der ganze Alltag wird digital organisiert.

**Jetzt sind Sie zurück in Deutschland und verantworten als Chief Information Officer (CIO) die Digitalisierung bei der MTU Aero Engines.**

Seidenfaden: Eine unglaublich spannende Aufgabe! Es fasziniert mich ungemein, wenn die virtuelle Welt auf die physische

trifft. Genau das passiert bei der MTU bei der Entwicklung und Produktion von Triebwerken. Es ist eine Riesenherausforderung für mich, die Digitalisierung in dieser Hightech-Welt sichtbar zu machen.

**Wie wird sie sichtbar?**

Seidenfaden: In der Vergangenheit stellte die IT vor allem eine Dienstleistung für die Infrastruktur dar. Wenn Bildschirme erneuert werden mussten, kümmerte sich die IT darum. Wenn Netzwerke bereitgestellt werden mussten, dann organisierte sie das. Viele papierbasierte Prozesse sind mittlerweile digitalisiert. Wir telefonieren über den Laptop. Wir arbeiten von unterschiedlichen Orten, gleichzeitig und mit verschiedenen Endgeräten an denselben Dokumenten. Parallel hat das Unternehmen enorm in Rechenpower investiert. Sie ist nötig, damit die IT zum Business Enabler des Unternehmens werden kann.



**Dr. Lutz Seidenfaden** \_\_\_\_\_

*Der IT-Experte ist davon überzeugt, dass die Kombination von in Algorithmen gegossenem Expertenwissen mit den Datenanalyse-Methoden die MTU erheblich weiterbringen wird.*

Dr. Lutz Seidenfaden studierte Wirtschaftsinformatik an der Georg-August-Universität Göttingen, an der er anschließend auch promovierte. Über 12 Jahre hatte er beim Automatisierungsspezialisten Festo verschiedene Führungspositionen inne, zuletzt als Leiter Information Management IT Services. Seit Juni 2020 ist Lutz Seidenfaden Senior Vice President Information Systems (CIO) bei der MTU Aero Engines.

**Was meinen Sie damit?**

Seidenfaden: Begriffe wie Big Data, Künstliche Intelligenz oder Automatisierung sind in unserem Geschäft kein Selbstzweck: Big Data kommt für uns einem Fernglas in eine neue Welt gleich. Künstliche Intelligenz ist das Mittel, um aus dem, was sichtbar wird, die richtigen Schlüsse zu ziehen. Und die neuen Möglichkeiten bei der Automatisierung nutzen wir, um aus allem einen konkreten Mehrwert in unserem Fertigungsverbund zu schaffen.

**Das müssen Sie genauer erklären.**

Seidenfaden: An den Fertigungslinien fallen eine Vielzahl von Maschinendaten an. Diese Daten wollen wir sammeln, auswerten und in den Planungsprozess zurückschleusen: Indem wir zum Beispiel Muster und Abhängigkeiten erkennen, die sich womöglich erst Fertigungsschritte später negativ in der Bauteilqualität niederschlagen. Gelingt es uns, die Trends belastbar zu extrahieren, wäre den Fertigungsingenieur:innen eine fundierte Entscheidungsgrundlage zur frühen Reaktion an die Hand gegeben. Darüber hinaus zielen wir auf eine komplette Datentransparenz in der Supply Chain ab: Welcher Lieferant liefert zum Beispiel die beste Qualität am zuverlässigsten? Welche Bestellungen lösen wir in welchem Umfang zu welchem Zeitpunkt aus, weil wir die Bearbeitungszeiten unserer Maschinen verlässlich zurückrechnen können? Wie können wir den Forecast der Kundenabrufe dank neuer Tools noch verlässlicher prognostizieren? Können wir ungeplante Ausfälle in unserem Maschinenpark auf Basis der Maschinendaten vorhersagen und durch vorbeugende Instandhaltung vermeiden? Für die Antworten darauf ist die Digitalisierung der zentrale Hebel.

**Die MTU bietet individuelle Services in der Instandhaltung und Reparatur an. Das Geschäftsmodell beinhaltet auch ein integriertes Triebwerksleasing mit Asset-Management. Was bedeutet die Digitalisierungsstrategie für das MRO-Geschäft?**

Seidenfaden: Tatsächlich sehen wir dort zurzeit ein großes Potenzial für ein digitales Business Enablement. Gerade sind wir zum Beispiel dabei, einen Statusreport für Triebwerke aufzubauen. Ähnlich einer Paketverfolgung kann die Airline künftig online abfragen, an welchem Maintenance-Schritt sich ihr Triebwerk gerade befindet, welche Arbeitsschritte noch anstehen und wann sie mit der Auslieferung rechnen kann. Das erleichtert die Planung ungemein! Im nächsten Schritt verbinden wir diesen Service intelligent mit anderen MTU-Services, beispielsweise unserem Angebot, ein Triebwerk zu leasen. Damit helfen wir unseren Kunden, die Reparaturzeiten mit einem Leasingtriebwerk zu überbrücken.

**Triebwerksdaten aus dem Betrieb – Stichwort Engine Trend Monitoring – nutzen Sie ja schon heute umfangreich ...**

Seidenfaden: ... was allerdings nicht bedeutet, dass wir den Service nicht verbessern könnten. Anhand von Big Data und „KI“ könnten wir ihn auf die nächste Ebene heben: weg vom einzelnen Triebwerk, hin zum intelligenten Flottenmanagement. Wenn der Flugverkehr brummt, ist die Verfügbarkeit der Flugzeuge die bestimmende Zielgröße. In Krisenzeiten würde die Kostenoptimierung über die gesamte Flotte im Mittelpunkt

stehen. Je größer die Flotte, desto wichtiger wird die Unterstützung von Künstlicher Intelligenz – weil konventionelle Tools wegen der schiereren Datenmengen schlicht an ihre Grenzen stoßen. Die Sicherheit der Daten gewährleisten wir dank State-of-the-Art IT-Architekturen.

### **Ganz gleich, ob OEM-Fertigungsgeschäft oder MRO-Instandhaltungsbusiness: Mehr Daten bedeuten nicht automatisch mehr Nutzen. Wie behält man den Überblick?**

Seidenfaden: Indem man strukturiert an die Sache herangeht und sich nicht im Klein-Klein verheddert. In einer Art Basisversion funktioniert schon vieles über explorative Datenanalysen: Man lässt Algorithmen über Datenbestände laufen in der Hoffnung, dass der Computer Zusammenhänge findet, die der Mensch nicht erkennen würde. Wenn aber jemand wie die MTU jahrzehntelanges Know-how im Triebwerksbusiness hat, dann können wir diese Algorithmen ganz gezielt loslassen. Nichtsdestotrotz werfen unsere Ingenieur:innen darauf aber stets einen prüfenden Blick, um die Ergebnisse zu analysieren und zu verifizieren.

Ich bin überzeugt, dass uns die Kombination von in Algorithmen gegossenem Expertenwissen mit den Datenanalyse-Methoden erheblich weiterbringt – gerade auch in der klassischen Triebwerksentwicklung, etwa bei der Aerodynamik und der Strukturmechanik.

### **Haben Sie keine Angst, dass die Digitalisierung eines Tages das MTU-Kerngeschäft erübrigt?**

Seidenfaden: Nein. Der Trend zum Fliegen ist intakt. Nach wie vor werden Airlines auch Triebwerke und die dazugehörigen Services nachfragen. Und es wird immer Menschen brauchen, die diese Triebwerke und Services weiterentwickeln und die Triebwerke instand halten. Insofern ergänzen die digitalen Services unser Kerngeschäft mit den physischen Triebwerken. 🌐

## Digitale Exzellenz trifft auf Hightech in der Luftfahrt

Die MTU Aero Engines steht für hochtechnologisierte Prozesse in Entwicklung und Fertigung, cloudbasierte Digital Maintenance Lösungen sowie für Simulationen und Supercomputer, mit Hilfe derer die zukünftige Luftfahrt emissionsfrei gestaltet werden soll. Als Hightech-Unternehmen hat die MTU die Weiterentwicklung der IT-Technologie und den Aufbau von einem internen Experten-Know-how zu allen Systemanforderungen stets im Blick.

Was die Arbeit dabei so spannend macht? Die MTU simuliert die Zukunft der Luftfahrt und verbindet so die virtuelle Welt mit der physischen. Auf dem Weg zur emissionsfreien Luftfahrt zeigt die MTU jeden Tag, wie die Prozesse und Produkte immer besser, schneller und effizienter werden und dabei gleichzeitig immer weniger Ressourcen verbrauchen.



**Die MTU bietet Hightech hautnah – werden Sie Teil dieser digitalen Bewegung und bewerben Sie sich jetzt als IT-Expert:in.**

#### AUTOR:



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

#### IHRE ZUKUNFT BEI DER MTU BEGINNT GENAU HIER:

Entdecken Sie hier alle Ihre Karrieremöglichkeiten bei der MTU und lernen Sie uns als Arbeitgeber kennen.  
[www.mtu.de/de/karriere](http://www.mtu.de/de/karriere)



# To-do-Listen – der Sicherheit zuliebe

*Ziel aller planmäßigen Flugvorbereitungen sind Sicherheit und Schutz aller Passagiere und Besatzungsmitglieder an Bord. Um diese bestmöglich zu gewährleisten, kommen Checklisten zum Einsatz.*

**Autor:** Markus Kemminer



**Ready for take-off** ——— *Bevor ein Flugzeug bereit zum Abheben ist, gibt es eine ganze Liste an Checks abzuarbeiten: Dabei wird nicht nur die Maschine technisch überprüft, sondern auch die Crew bereitet sich gemeinsam auf den Flug vor.*

### Was sind Preflight-Checklisten?

Der Name sagt eigentlich schon alles: Eine Preflight-Checkliste ist eine Auflistung von Kontrollmaßnahmen, die ein Pilot oder eines der Besatzungsmitglieder am oder im Flugzeug durchführen muss, bevor dieses als startbereit gemeldet werden kann.

Ziel sämtlicher Preflight-Checks ist die Überprüfung aller funktions- und sicherheitsrelevanten Faktoren im Cockpit, im Kabinen- und Außenbereich.

### Allerdings ...

... wer nach der Checkliste oder den Checklisten sucht, wie sie zur Flugvorbereitung abgearbeitet werden, findet sich bald in einem Labyrinth wieder. Der Grund: Die Vielzahl unterschiedlicher Flugzeugtypen und -modelle mit ihren jeweiligen technischen Besonderheiten, dazu die (oft historisch bedingten) Unterschiede in

den Vorgaben von Fluggesellschaften oder Flughafenbetreibern, lassen hier kaum eine Einheitlichkeit zu. Grundsätzlich können aber zwei Checklisten voneinander unterschieden werden:

- der sogenannte „Preflight-Check“ (auch als „External Check“ oder „Piloten-Rundgang“ bezeichnet), bei dem die äußerlich sichtbaren Bestandteile des Flugzeugs geprüft werden
- sowie der Startcheck (auch „Before-Taxi-Check“), der in der Summe all jene Überprüfungen zusammenfasst, die zur unmittelbaren Vorbereitung des Starts anfallen.

### Warum werden Preflight-Checklisten eingesetzt?

Bei aller Erfahrung und Routine, die Entscheidungsträger in einem professionellen Umfeld aufbringen können, wissen wir: Das menschliche Gedächtnis ist fehlbar und die Fähigkeit zur Konzentration stets durch innere oder äußere Einflüsse ge-



**Flugvorbereitung** — Die Kabinenbesetzung wird vom Piloten über alle wichtigen Aspekte des Flugs, insbesondere Wettervorhersage und der daraus abzuleitenden, möglichen Turbulenzen, informiert.



**Kabinenbesetzung** — Vor dem Abflug prüft die Crew, ob alle Passagiere angeschnallt sind.

fährdet, die sie ablenken können. Checklisten entlasten das Gedächtnis, fokussieren die Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Aspekt und überführen die technische und funktionale Überprüfung eines Gesamtsystems in eine festgelegte Abfolge und Routine.

### Seit wann gibt es Preflight-Checklisten?

Bereits erstaunlich lange! Die Erstellung von Vorflug-Checklisten wurde Mitte der Dreißigerjahre von dem Flugzeugbauer Boeing initiiert. Boeing hatte erkannt, dass die Pilot:innen ihrer Maschinen – insbesondere bei der Überprüfung ihrer Flugzeuge in der Vorbereitungs- und Startphase – eine zusätzliche Gedächtnishilfe benötigten, um mögliche Gefahren und Risiken zu vermeiden, die durch eine unaufmerksame oder unvollständige Kontrolle entstehen können.

### In welcher Phase der Flugvorbereitung werden die Checks durchgeführt?

Der Preflight-Check beginnt in der Regel nach dem Briefinggespräch der Crew, in dem die Mitglieder der Besatzung in einer gemeinsamen Besprechung Flug-, Flugzeug- und Wetterinformationen austauschen und mögliche Besonderheiten im Umfeld des Flugs erörtern. Wesentliches Thema dieser Besprechung ist dabei die Festlegung der Treibstoffmenge, die mitgeführt werden muss. Nach dem Informationsaustausch beginnen die Flugkapitäne mit dem Preflight-Check, also der Überprüfung zentraler funktions- und sicherheitsrelevanter Faktoren im Außenbereich, in der Kabine und im Cockpit. Der Startcheck wird dann, der Name sagt es bereits, in unmittelbarer Vorbereitung des Takeoffs durchgeführt.

### Was überprüft der Pilot bei seinem Rundgang im Einzelnen?

Der Preflight-Check besteht im Wesentlichen in der technischen

Überprüfung der Maschine, die kurz vor dem Start während eines Rundgangs um das Flugzeug meist vom Piloten selbst vorgenommen wird.

Der erste Blick richtet sich dabei auf offensichtliche Unstimmigkeiten: In welchem Zustand befinden sich die Bereifung, die Tragflächen?

Die Listen, die der Prüfverantwortliche zur Hand hat, sind dabei stets an den Besonderheiten des jeweiligen Flugzeugmodells orientiert. Zu seinen Aufgaben gehören unter anderem:

- ✓ Überprüfung der Papiere, Einsicht in die Logbücher des Flugzeugs, Prüfung der korrekten Einstellungen am Flugzeug und Vollständigkeit der Ausrüstung.
- ✓ Check der Außenseiten des Flugzeugs beim Rundgang: Gibt es beispielsweise Risse, die sich erkennbar am Rumpf entlangziehen, Beulen oder Kratzer?
- ✓ Überprüfung der Flugsteuerungen, des Kraftstoff- und Ölstands.
- ✓ Bei entsprechend niedrigen Temperaturen: Überprüfung, ob die Außenhaut des Flugzeugs schnee- bzw. eisfrei ist.

Anhand der Bewertung dieser Kriterien entscheidet der Verantwortliche, ob das Flugzeug flugtauglich ist, also: Go oder No-Go.

### Und was macht die Crew währenddessen?

Im Anschluss an die Besprechung mit den Pilot:innen im Crewraum findet in der Regel eine zusätzliche Unterweisung zu Flugsicherheits- oder Erste-Hilfe-Themen statt.

Auch bei der eigentlichen Flugvorbereitung in der Kabine zählt die Überprüfung der Notfallausrüstung anhand der Emergency



**Startcheck** — Pilot und Co-Pilot prüfen, ob die einzelnen Punkte der Checkliste korrekt ausgeführt bzw. eingestellt wurden.



Equipment Checklist (EECL) zu den wichtigsten und verantwortungsvollsten Aufgaben der Crew. Dabei wird unter anderem kontrolliert, ob sich unter allen Sitzen Schwimmwesten befinden und auch alle weiteren Ausrüstungsgegenstände (Erste-Hilfe-Koffer) sicher verstaut und die Sauerstoffflaschen aufgefüllt sind.

### Der eigentliche Startcheck ...

... beginnt in der Phase der unmittelbaren Flugvorbereitung. Zunächst wird dabei der Flugsteuerungscomputer mit allen für die Fahrt wichtigen Daten gefüttert. Sind sämtliche Passagiere an Bord und die Gepäckstücke verladen, kann auch das endgültige Gewicht des Fliegers festgestellt werden; dieses ist für die Berechnung der Startdaten (Schub, Steigwinkel etc.) notwendige Voraussetzung. Erst wenn diese vom Steuerungscomputer erfasst werden, kann das Flugzeug seine Parkposition verlassen.

### Hierbei wird unter anderem geprüft, ob


- ✓ die Kraftstoffmenge tatsächlich den zuvor durchgeführten Berechnungen entspricht
- ✓ Instrumente, Funkverkehr und Flugsteuerungsfunktionen einwandfrei funktionieren
- ✓ sich alle relevanten Start- bzw. Vorstarteinstellungen (On/Off oder spezifische Einstellungen) in der korrekten Position befinden
- ✓ Türen und Öffnungen vorschriftsmäßig verschlossen sind
- ✓ und Besatzungsmitglieder und Passagiere angeschnallt sind.

Der Startcheck wird dabei in der Regel als eine Koproduktion von Pilot und Co-Pilot vorgenommen. Während einer der beiden die einzelnen Punkte der Liste vorträgt, checkt der andere, ob diese korrekt ausgeführt bzw. eingestellt wurden.

### Derweil kümmert sich die Kabinenbesetzung um die Ankunft der Passagiere an Bord. Das Lächeln zur Begrüßung ist stets freundlich, aber ...

... stets verbunden mit einem prüfenden Blick. Mit diesem nämlich werden die ankommenden Fluggäste gecheckt: Wie sieht deren Handgepäck aus? Welche Sprache sprechen sie? Wie ist ihr körperlicher (und möglicherweise geistiger) Zustand? Sind sie möglicherweise alkoholisiert oder verhalten sie sich in auffälliger Weise aggressiv?

### Mit einem „Cabin ready!“ ...

... gibt dann der Purser an das Cockpit weiter, dass sämtliche sicherheitsrelevanten Aspekte in der Kabine überprüft, die Arbeitsmaterialien verstaut und alle Passagiere angeschnallt sind. Es kann jetzt losgehen! 

#### AUTOR:



**Markus Kemminer** ist geschäftsführender Redakteur der Content-Agentur TextVersion. Bei der großen Auswahl technischer Themen, über die er schreibt, rangiert das Thema Luftfahrt ganz weit oben.

## IMPRESSUM

## AEROREPORT 02|21

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

**Herausgeber**

MTU Aero Engines AG  
Eckhard Zanger  
Leiter Unternehmenskommunikation  
und Public Affairs

**Redaktionsleitung**

Dongyun Yang

**Redaktion**

Patricia Hebtng  
Isabel Henrich

**Anschrift**

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

**Autoren**

Denis Dilba, Nicole Geffert, Isabel Henrich  
Markus Kemminer, Victoria Nicholls,  
Thorsten Rienth

**Layout**

SPARKS CONSULTING GmbH, München

**Bildnachweis**

*Titel* MTU Aero Engines  
3 MTU Aero Engines  
6\_7 MTU Aero Engines, Airbus  
8\_13 MTU Aero Engines, Airbus,  
Matthias Geiger  
14\_17 MTU Aero Engines  
19\_21 MTU Aero Engines  
22\_27 Shutterstock, DLR/Getty Images,  
MTU Aero Engines, Volocopter  
Michael Drews/DLR, DLR, Droniq  
28\_31 Shutterstock, DLR, MTU Aero Engines  
32\_35 Shutterstock, MTU Aero Engines  
36\_47 Shutterstock, MTU Aero Engines  
48\_51 MTU Aero Engines, Shutterstock  
52\_55 Shutterstock, Airbus, Amazon,  
© 2016 Chad Slattery  
56\_59 Shutterstock, MTU Aero Engines  
60\_63 Shutterstock  
64 Shutterstock

**Druck**

Eberl & Koesel, Altusried-Krugzell

**Online**

ADVERMA  
Advertising und Marketing GmbH, Rohrbach

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

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

**KURZ ERKLÄRT:**

# Sustainable Aviation Fuels

*Sustainable Aviation Fuels (SAFs) haben das Potential, die Klimawirkung signifikant zu reduzieren. Bereits heute können die nachhaltigen Kraftstoffe per „drop-in“ in der bestehenden Flotte eingesetzt werden. 5 Fragen zu SAFs.*

**Was sind Sustainable Aviation Fuels (SAFs)?**

SAFs sind nachhaltige Kraftstoffe, die die Klimawirkung der Luftfahrt signifikant reduzieren. Sie lassen sich in zwei Kategorien unterteilen:

- Kraftstoffe, bei deren Herstellung Biomasse verwendet wird.
- synthetische Kraftstoffe, die aus erneuerbaren Energien und CO<sub>2</sub> erzeugt werden.

Bereits heute sind mehrere SAF-Herstellverfahren zertifiziert. Power-to-Liquid gilt als vielversprechendes Herstellverfahren synthetischer SAFs.

**Welchen Vorteil haben SAFs?**

Bei der SAF-Herstellung wird CO<sub>2</sub> als Rohstoff verwendet, was die CO<sub>2</sub>-Bilanz signifikant verbessert – je nach Herstellverfahren um 80 Prozent und mehr. SAFs können bereits heute in Beimischungen bis zu 50% „drop-in“ in der bestehenden Flotte eingesetzt werden, also ohne Anpassung der Infrastruktur, des Flugzeugs und des Triebwerks. In ersten Versuchen haben SAFs zusätzlich großes Potenzial zur Verringerung von Kondensstreifen und deren Klimawirkung gezeigt: SAF ist also die Technologie, die in der bestehenden Flotte unmittelbar zur Verbesserung der Klimawirkung führt.

**Welche Rolle spielt Wasserstoff?**

Die Basis mehrerer SAF-Herstellverfahren ist Wasserstoff. Ein komplementärer Einsatz von Wasserstoff und SAFs in der Luftfahrt ist daher möglich. Auf der Langstrecke können SAFs Vorteile gegenüber Wasserstoff haben, auf kürzeren Strecken

zeigt hingegen die Brennstoffzelle großes Potential: Dieses Konzept ist nahezu emissionsfrei.


Die MTU entwickelt zusammen mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) den Flying-Fuel-Cell-Demonstrator, der in den nächsten Jahren abheben wird.

**Welchen Bedarf an SAFs hat die Luftfahrt?**

Zur Erreichung einer klimaneutralen Luftfahrt müssen Sustainable Aviation Fuels bis 2050 flächendeckend eingesetzt werden. Der Bedarf beträgt ca. 600 Millionen Tonnen. Damit der Bedarf gedeckt werden kann, ist die Bereitstellung großer Mengen erneuerbarer Energie und CO<sub>2</sub> entscheidend für synthetische SAFs. Aktuelle biogene Herstellverfahren müssen anfänglich die Bedarfe decken, dann müssen fortschrittliche biogene sowie synthetische Verfahren mit hoher Nachhaltigkeit folgen. Eine Mischung biogener und synthetischer Herstellprozesse maximiert das verfügbare Volumen.

**Werden SAFs heute bereits eingesetzt?**

Synthetische Kraftstoffe werden heute noch nicht im industriellen Maßstab produziert, Demoanlagen werden aktuell geplant. Geringere Mengen an Biokraftstoffen werden bereits heute eingesetzt, das entspricht ca. 0,1 Prozent des weltweiten Kerosinverbrauchs, der 2019 bei 300 Millionen Tonnen lag.

Die MTU unterstützt mehrere Vorhaben zum Aufbau von Power-to-Liquid-Produktionsanlagen. 





**BRINGT 80.000 PFUND  
SCHUB – UND SIE HABEN  
ES ENTWICKELT.**

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

**Gesucht: Ingenieure (m/w/d)  
für das Außergewöhnliche.**

Dagegen ist jeder Rennwagen eine Seifenkiste.  
Entwickeln Sie die wirklich großen Dinge:  
Triebwerke mit Wumms. Bei uns. Bei der MTU.

Wir sind 10.000. An 15 Standorten weltweit.  
Jedes dritte Flugzeug fliegt mit unserer  
Technologie. Was wir noch brauchen? **Sie.**

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

**#UPLIFTYOURFUTURE**



**AEROREPORT**

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