

# H<sub>2</sub>

## Mit Wasserstoff in die Zukunft

*Die MTU Aero Engines setzt mit großen  
Erwartungen auf Wasserstoff*

### INNOVATION

Bildanalyse mit Biss –  
Natter verbessert die  
Performance

### AVIATION

Das Gegenteil von Stillstand –  
MRO-Kapazitäten werden  
ausgebaut

### AVIATION

Klimafreundliche Kurse –  
klimaoptimierte Flugrouten  
und Anflugverfahren

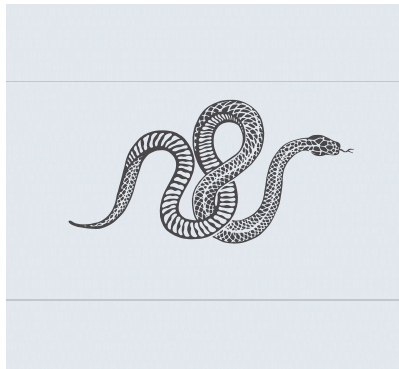


**COVER STORY**

**Mit Wasserstoff in die Zukunft**

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

Seite 4



**INNOVATION**

**Bildanalyse mit Biss**

Für die Qualitätsprüfung oder zur Schadensanalyse mussten Metallografen bisher tagelang Mikroskop-Aufnahmen am Rechner nachbearbeiten. Die von der MTU entwickelte Software „Natter“ automatisiert den Prozess und verkürzt so die benötigte Zeit auf Minuten.

Seite 14



**AVIATION**

**Das Gegenteil von Stillstand**

Zusätzliche Shops, neue Triebwerkstypen: Um den Markt noch besser bedienen zu können, erweitert die MTU Aero Engines Service und Support. Die MRO-Standorte in China und Polen packen die Instandsetzung für PW1100G-JM-Triebwerke an. In Serbien entsteht ein neues Reparaturwerk.

Seite 24

**CONTENTS**

**COVER STORY**

- 4 **Mit Wasserstoff in die Zukunft** Um den Flugverkehr umweltfreundlicher und letztendlich emissionsfrei zu gestalten, setzt die MTU mit großen Erwartungen auf Wasserstoff
- 9 **Das Komponenten-Puzzle** Die Integration der Komponenten eines Wasserstoffantriebs in ein Flugzeug ist eine ebenso große Herausforderung wie deren Entwicklung und Optimierung.

**INNOVATION**

- 12 **Realitäten erweitern** In ihrem Inno Lab arbeitet die MTU daran, mit Hilfe von Augmented Reality die Arbeitsschritte am Triebwerk zu vereinfachen.
- 14 **Bildanalyse mit Biss** Die von der MTU entwickelte Software „Natter“ verkürzt die für die Qualitätsprüfung von Metallen benötigte Zeit von Tagen auf Minuten.

**AVIATION**

- 18 **Frostschutz für Flugzeuge** Eis auf den Flügeln stört die Aerodynamik und gefährdet die Sicherheit. Verschiedene Technologien halten Flugzeuge am Boden und in der Luft möglichst eisfrei.
- 24 **Das Gegenteil von Stillstand** Die MTU gibt Gas und baut ihre MRO-Kapazitäten weiter aus. Drei Standorte berichten.
- 34 **Klimafreundliche Kurse** Neben effizienteren Flugzeugen sollen künftig auch klimaoptimierte Flugrouten und kraftstoffsparende Anflugverfahren den Luftverkehr grüner machen.
- 38 **Die fliegende Feuerwehr** Global Supertanker, Canadair CL-415, Air Tractor AT-802F & Co.: Aus der Luft können Waldbrände schnell und effektiv bekämpft werden.

**AVIATION**

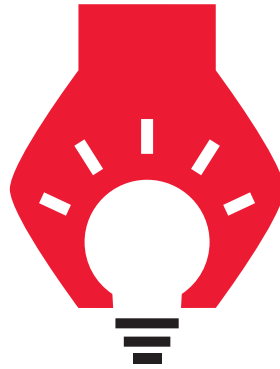
## Klimafreundliche Kurse

Neben weiteren technischen Verbesserungen des Flugzeugs sollen künftig auch operationelle Maßnahmen wie klimaoptimierte Flugrouten und kraftstoffsparende Anflugverfahren den ökologischen Fußabdruck des Luftverkehrs verkleinern.

---

Seite 34

---

**PEOPLE**

## Do-it-Yourself in der Prototypen-Werkstatt

Der MakerSpace in München ist eine Hightech-Werkstatt für Erfinder und Kreative. Mitarbeiter der MTU Aero Engines tüfteln dort mit Software, Werkzeug und Maschinen an den Prototypen ihrer Produktidee – neue Denkanstöße und Erfolgserlebnisse inklusive.

---

Seite 44

---

**GOOD TO KNOW**

## Durch Knack und Rausch

„Reduce to Minimum.“ Sprachlich betrachtet ist die Luftfahrt eine Branche der Ab- und Verkürzungen. Vieles davon wuchs historisch, manches hängt mit Kopfhörern und Störgeräuschen zusammen. Aber auch die Notfallkommunikation spielt eine wichtige Rolle.

---

Seite 48

---

**PEOPLE**

**44 Do-it-Yourself in der Prototypen-Werkstatt** Von der Idee zum Prototyp: Erfinder der MTU Aero Engines setzen in der Hightech-Werkstatt MakerSpace in München eigene Produktideen in die Wirklichkeit um.

**GOOD TO KNOW**

- 48 Durch Knack und Rausch** Die Luftfahrtbranche ist voller sprachlicher Ab- und Verkürzungen. Viele davon sind historisch gewachsen – und hängen mit Kopfhörern zusammen.
- 52 Schatzkästchen mit Flügeln** Recycling und Upcycling sind im Trend. Auch bei der Verwertung von Flugzeugen. Ausgediente Maschinen enthalten eine Fülle an Wertstoffen, die sich nutzen lassen.
- 56 PW800** Der zuverlässige Antrieb für Businessjets
- 57 Umfrage, Impressum und Bildnachweis**



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

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

# H<sub>2</sub>

## **H<sub>2</sub> = Wasserstoff** \_\_\_\_

*Wasserstoff ist ein chemisches Element mit dem Symbol H und der Ordnungszahl 1. Im Periodensystem steht es in der 1. Periode und der 1. IUPAC-Gruppe. Wasserstoff ist das häufigste chemische Element im Universum, jedoch nicht in der Erdkruste. Er ist Bestandteil des Wassers und beinahe aller organischen Verbindungen.*



# Mit Wasserstoff in die Zukunft

*In nachhaltigen alternativen Kraftstoffen,  
CO<sub>2</sub>-frei in der Fluggasturbine verbrannt oder in der  
fliegenden Brennstoffzelle – die MTU Aero Engines  
setzt mit großen Erwartungen auf Wasserstoff.*

**Autor:** Denis Dilba



**Dornier 228** — Das zweimotorige turbinengetriebene Propellerflugzeug soll als Testflugzeug mit einer wasserstoffbetriebenen Brennstoffzelle ausgerüstet werden.

# H<sub>2</sub>



**Brennstoffzellen** — Der Einsatz von Brennstoffzellen als Energiequelle verursacht mit Ausnahme von Wasser keine Emissionen und ermöglicht damit ein quasi klimaneutrales und schadstofffreies Fliegen.

Mit ihrer langgezogenen Nase und den beiden propellergetriebenen Turboprop-Triebwerken sieht die in den 1980er-Jahren designte Dornier 228 wahrlich nicht aus wie die Zukunft der Luftfahrt. Wenn aber alles nach Plan läuft und die Maschine in 2026 vom Forschungsflughafen Oberpfaffenhofen des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) aus abhebt, hat sie eine technische Revolution am Flügel: einen speziell für Luftfahrtanwendungen entwickelten Brennstoffzellen-Antriebsstrang. „Aus heutiger Sicht hat die Brennstoffzelle in Verbindung mit nachhaltig produziertem Wasserstoff das langfristig größte Potenzial, einen emissionsfreien Luftverkehr zu ermöglichen. Das ist unsere Vision für die Zukunft“, sagt MTU-Technik-Vorstand Lars Wagner. „Unserer Meinung nach könnte so ein Brennstoffzellen-System

künftig eine ausreichende Leistung und Reichweite für den Primärtrieb von Regional-, Kurz- und auch Mittelstreckenflugzeugen bereitstellen.“

Konsequenterweise ist die MTU Aero Engines daher Entwicklungs-Partner in dem ambitionierten Brennstoffzellen-Projekt. Im August 2020 hat Wagner gemeinsam mit Professor Rolf Henke, Luftfahrt-Vorstand des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR), die Absichtserklärung zur Entwicklung des Brennstoffzellen-Antriebsstrangs unterschrieben. Ziel der Partner ist es, die Dornier 228 mit einer Hochleistungs-Brennstoffzelle und einem einseitigen elektrischen Propellerantrieb der Leistungsklasse von über 500 Kilowatt auszurüsten und dann im Flug zu testen. Der Antriebsstrang wird dann bis auf Wasser und Wasserdampf keine Emissionen aufweisen. Bis zu 80 Experten sollen an dem zukunftsweisenden Projekt arbeiten. „Die in der Kooperation gewonnenen Erfahrungen und Daten, unter anderem in den Bereichen Regelung und luftrechtliche Qualifizierung, sind für unsere weitere Produktentwicklung von entscheidender Bedeutung“, betont Wagner.

## **Brennstoffzellen für Luftfahrtantriebe müssen leistungsfähiger werden**

Barnaby Law, Chief Engineer Flying Fuel Cell der MTU, hat keine Zweifel, dass der durchaus sportliche Zeitplan eingehalten werden kann. Hauptsächlich getrieben von der Automobilindustrie seien die Leistungsgewichte der Brennstoffzellen in den vergangenen zehn Jahren immer besser geworden, parallel dazu hätten sich breitere Zuliefererketten etabliert. „Das ist insgesamt eine

*„Aus heutiger Sicht hat die Brennstoffzelle in Verbindung mit nachhaltig produziertem Wasserstoff das langfristig größte Potenzial, einen emissionsfreien Luftverkehr zu ermöglichen. Das ist unsere Vision für die Zukunft“*

**Lars Wagner**

Vorstand Technik bei der MTU Aero Engines

gute Absprungbasis, um die Technologie für Luftfahrtanwendungen weiterzuentwickeln“, sagt der Experte. Denn um Brennstoffzellen als Primärtriebssystem für Flugzeuge mit einer größeren Anzahl Passagieren und einer relevanten Reichweite einsetzen zu können, müssen sie noch leistungsfähiger werden. Unüberwindbare Hürden sind hier laut Law nicht zu befürchten: „Da in der Luftfahrt die Gewichtsreduktion eine höhere Bedeutung hat als in der Automobilindustrie, sind Ansatzpunkte schon absehbar, wie wir die Brennstoffzellen optimieren können“, sagt der Brennstoffzellen-Spezialist.

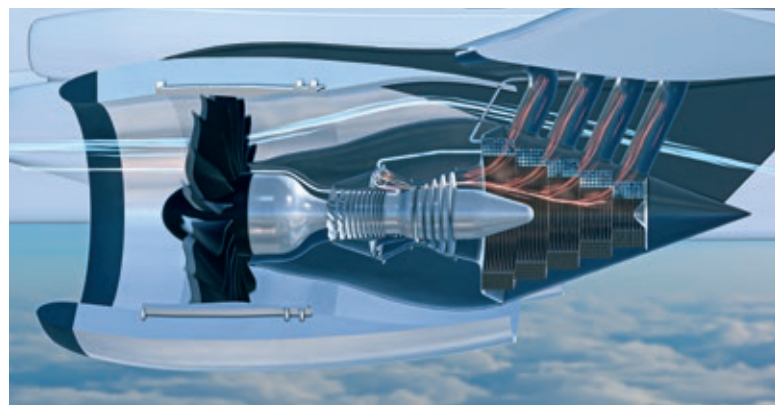
Zum einen bieten beispielsweise leichtere Hightech-Werkstoffe – wie das in der Luftfahrt beliebte Titan – die Möglichkeit, Gewicht zu sparen. Zum anderen ist auch eine etwas höhere Beladung mit dem teuren, aber leistungssteigernden Katalysator-Material Platin tolerabel. Aber selbst mit diesen absehbaren zusätzlichen Kosten sei die Brennstoffzelle im Vergleich mit anderen klimafreundlichen Lösungen immer noch günstig – zudem habe sie den großen Vorteil der echten Emissionsfreiheit, so Law. Damit Passagierflugzeuge mit Brennstoffzellenantrieb fliegen können, sind aber auch noch andere Technologien nötig – allen voran das Tanksystem. Da Wasserstoffgas auch in Drucktanks noch sehr viel Volumen einnimmt, soll für Luftfahrtanwendungen auf minus 253 Grad Celsius gekühlter flüssiger Wasserstoff zum Einsatz kommen. Law: „Den Tank kann man sich dann wie eine große Thermoskanne vorstellen.“

### **Auch andere umweltfreundliche Technologien basieren auf Wasserstoff**

Dieses Konzept funktioniert aber nur, da Flugzeuge große Mengen Wasserstoff verbrauchen und die Flüge regelmäßig und planbar sind, so der MTU-Fachmann. „Wenn man einen Flüssigwasserstofftank in ein Auto einbauen würde, damit zum Flughafen fährt und nach zwei Wochen wiederkommt, wäre der Tank grob gesprochen leer.“ Flugzeuge verbrauchen den Wasserstoff bevor

er sich erwärmt und gasförmig wird. Einen Haken habe die Lösung aber doch: „Rein physikalisch hat flüssiger Wasserstoff bei gleichem Energieinhalt ein vier Mal so großes Volumen wie Kerosin“, sagt Law. Allerdings sei der Faktor in der Praxis aber etwas kleiner und liege irgendwo zwischen drei und vier. Das heißt: Je größer die geflogenen Distanzen werden, desto größer wird auch der benötigte Wasserstofftank. „Für Strecken bis ungefähr 3.500 nautischen Meilen, knapp 6.500 Kilometer, könne man so einen Tank mit Anpassungen noch sinnvoll in der heutigen Flugzeugkonfiguration unterbringen – darüber hinaus sind andere Lösungen besser“, sagt der Brennstoffzellen-Experte.

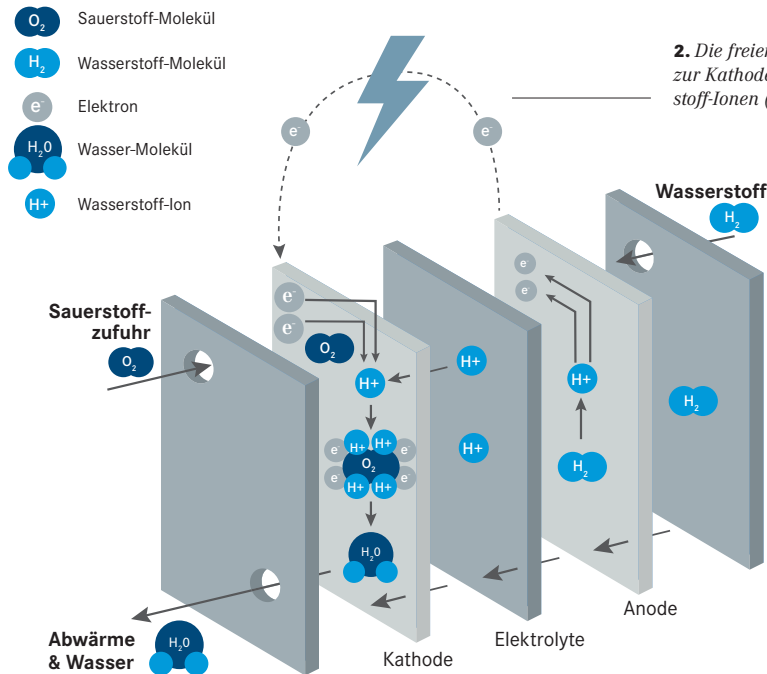
„In Frage kommen die direkte Verbrennung von Wasserstoff in den Fluggasturbinen oder Sustainable Aviation Fuels (SAFs), die etwa mit dem Power-to- oder Sun-to-Liquid-Verfahren hergestellt werden können“ sagt Dr. Stefan Weber, Leiter Entwicklung und Technologie der MTU. Auf H<sub>2</sub>-Direktverbrennung könnte theoretisch sofort umgestellt werden. Die nötigen Modifizierungen beim Getriebefan (GTF) wären vergleichsweise einfach umzusetzen, sagt Weber. Nur habe man eben noch nicht ausreichende Mengen an grünem Wasserstoff zur Verfügung. Die SAFs hätten wiederum den Charme der Drop-in-Fähigkeit. „Da braucht man



**Water-Enhanced Turbofan (WET)** — In einem Wärmetauscher im Triebwerk wird Wasser verdampft und in die Brennkammer eingespritzt. Ziel ist es, die Energie im Abgas zur Leistungserzeugung zu nutzen und durch Dampfeinspritzung Emissionen zu reduzieren.

quasi nichts an den Triebwerken, Flugzeugen und der weiteren Infrastruktur ändern“, so der Technologie-Experte. Allein mit diesen beiden Technologien wäre schon viel gewonnen: Die H<sub>2</sub>-Direktverbrennung kommt ohne CO<sub>2</sub>-Emissionen aus und vermeidet zudem die Partikelemission. Die SAFs wiederum schließen die CO<sub>2</sub>-Kette und tragen somit sofort zum klimaneutralen Fliegen bei und haben darüber hinaus das Potenzial aufgrund sauberer Verbrennung weniger Kondensstreifen zu erzeugen.

SO FUNKTIONIERT EINE BRENNSTOFFZELLE



2. Die freien Elektronen fließen als nutzbarer Strom über einen Leiter zur Kathode. Dort bilden sie mit den Sauerstoffatomen negative Sauerstoff-Ionen (O<sub>2</sub><sup>-</sup>).

1. Jede Brennstoffzelle enthält zwei plattenförmige Elektroden (Anode und Kathode), die durch einen Elektrolyten voneinander getrennt sind. Der Elektrolyt kann Ionen leiten, ist aber für Gase undurchlässig. Die Katalysatormaterialien befinden sich an den Elektroden und sorgen dafür, dass die zugeführten Gase Ladungsträger (Ionen) freisetzen. Wasserstoffmoleküle (H<sub>2</sub>) zerfallen an der Anode in Wasserstoffatome, die wiederum durch Elektronenabgabe zu positiv geladenen Wasserstoff-Ionen (H<sup>+</sup>) werden.

3. Die Wasserstoff-Ionen wandern durch den Elektrolyten zur Kathode, wo sie sich mit den Sauerstoff-Ionen zu Wasser vereinigen und dabei noch Wärme freisetzen.

**Klimafreundlichere Technologien müssen noch schneller entwickelt werden**

Eine im Juni 2020 veröffentlichte Studie des größten europäischen Forschungsprogramms Clean Sky schätzt, dass die H<sub>2</sub>-Direktverbrennung den globalen Erwärmungseffekt des Fliegens so zwischen 50 und 75 Prozent und SAFs zwischen 30 und 60 Prozent reduzieren können. Der Brennstoffzelle schreiben die Autoren 75 bis 90 Prozent Minderungspotenzial zu. „Um es klar zu sagen: Wir brauchen alle drei Technologien“, so Weber. Einerseits böten die SAFs die einzige Möglichkeit, auch die bestehende Flugzeugflotte klimafreundlicher zu betreiben. Andererseits könne man sich nicht auf einer Lösung ausruhen, wenn es langfristig noch bessere Technologien gibt. Das gilt auch für die Weiterentwicklung der GTFs. So bietet das Konzept des Water-Enhanced Turbofans (WET Engine) in Kombination mit SAFs das Potenzial, auch die Emissionen von Langstreckenflugzeugen weitestgehend zu reduzieren. Dazu wird in einem Wärmetauscher im Triebwerk Wasser ver-

dampft und in die Brennkammer eingespritzt. Zur Verdampfung wird die Abgaswärme genutzt, wodurch die Effizienz des Antriebs deutlich verbessert werden kann. Darüber hinaus ermöglicht eine „nasse Verbrennung“ die fast vollständige Vermeidung von NO<sub>x</sub>.

Ebenso sei die evolutionäre Weiterentwicklung des GTFs noch nicht am Ende, sagt Weber. Da seien auch noch ein paar Prozentpunkte Kraftstoffersparnis zu holen. „Wenn man die Paris-Ziele ernst nimmt und die Erderwärmung unter zwei Grad halten will, kommt man zu dem Schluss, dass wir all diese klimafreundlicheren Technologien schneller und aggressiver entwickeln müssen als bisher – genau das tun wir“, sagt Weber. „Damit die Flying Fuel Cell ihren Beitrag leisten kann, muss sie etwa spätestens 2040 in der Breite einsatzbereit sein“, so der Chef-Technologie. Brennstoffzellen-Experte Barnaby Law geht fest davon aus, dass das funktioniert: „Dann können wir mit einem Flugzeug der A320-Kategorie mit Brennstoffzellenantrieb in den Urlaub fliegen.“

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

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

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

# Das Komponenten- Puzzle

*Die Entwicklung und Optimierung von Brennstoffzellen und Wasserstofftanks ist eine Herausforderung – eine andere: Wie integriert man die Komponenten bestmöglich ins Flugzeug?*

**Autor:** Denis Dilba

Nicht nur Barnaby Law, Chief Engineer Flying Fuel Cell der MTU, ist davon überzeugt, dass Passagierflugzeuge künftig mit Wasserstoff abheben werden: Nur knapp sieben Wochen nachdem die MTU und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrttechnik (DLR) Anfang August 2020 eine Absichtserklärung zur gemeinsamen Entwicklung eines Brennstoffzellen-Antriebsstrangs unterzeichneten, veröffentlichte Airbus seine konkreten Pläne für eine umweltfreundlichere Luftfahrt. Für die Mittel- und Langstrecke stellt sich Airbus etwa ein wasserstoffbetriebenes Turbofan-Konzept vor. Modifizierte Triebwerke sollen das flüchtige Gas direkt verbrennen. Laut Airbus könnte dieser Flieger ab 2035 in Dienst

gehen. Was bei der Konstruktion erst bei genauerem Hinsehen ins Auge fällt: Im hinteren Rumpfbereich hat der H<sub>2</sub>-Flieger keine Fenster. Dort befindet sich der Wasserstofftank. „Wer Wasserstoffantriebe in das Flugzeug integrieren will, muss Kompromisse eingehen,“ so Law.

Der Grund dafür: Wasserstoff hat bei gleichem Energieinhalt auch auf minus 253 Grad Celsius tiefgekühlt und damit flüssig noch ein viermal so großes Volumen wie herkömmliches Kerosin. „In den Tragflächen, wo sich heute die Kerosintanks befinden, ist daher einfach nicht mehr genug Platz für Wasserstoff“, sagt



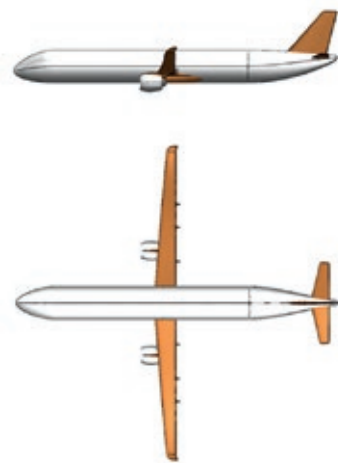
**Turbofan-Design** — Das Flugzeug für 120 bis 200 Passagiere hat eine Reichweite von mehr als 2.000 Seemeilen.



**Turboprop-Design** — Das Flugzeug für bis zu 100 Passagiere kann mehr als 1.000 Seemeilen zurücklegen.



## HYLINER-(2.0)-FLUGZEUG



**Ein mögliches Konzept** — Da Flüssigwasserstofftanks von einem hohen Volumen-Oberflächen-Verhältnis profitieren, verfügt das Hyliner-(2.0)-Flugzeug über Rumpftanks im Bug- und Heckbereich des Flugzeuges.



Brennstoffzellen-Experte Law. Diese Einschränkung gelte ebenso für wasserstoffbasierte Antriebe, die auf Brennstoffzellen setzen. Über den größeren Platzbedarf hinaus seien bei einem Flüssigwasserstofftank wegen der im Vergleich zu Kerosintanks höheren Drücke zudem kugel- oder zylinderförmige Bauweisen nötig. „Wenn man den Tank nicht außen an das Flugzeug bauen will, was nicht empfehlenswert ist, da es stark zu Lasten der Aerodynamik geht, bleibt als Einbauort nur der Rumpf“, erklärt Law. Dort sieht auch der Experte den  $H_2$ -Tank. Um eine ähnliche Anzahl von Passagieren befördern zu können, müssen wasserstoffbetriebene Flugzeuge somit entweder länger werden oder größere Rumpfdurchmesser aufweisen.

### Für Langstrecken- und Ultra-Langstreckenflüge ist ein $H_2$ -Tank zu groß und schwer

Denkbar sei auch die Aufteilung auf mehrere kleine Tanks oder die Kombination eines größeren  $H_2$ -Speichertanks mit vergleichsweise niedrigem Druck und einem kleineren Hochdrucktank, sagt Law. Letzteres komme etwa bei der Wasserstoffdirektverbrennung in Frage, da die Triebwerke hier Wasserstoffdrücke von 60 bar benötigen. „Grundsätzlich sind mehrere kleine Wasserstofftanks aber immer schwerer als einer oder wenige große.“ Letzteres halte er daher künftig für die Standardlösung. Für Langstrecken- und Ultra-Langstreckenflüge werde aber auch ein einzelner Tank trotz des üblicherweise eingesetzten Leichtmetalls Aluminium so groß und schwer, dass sich der Einsatz von flüssigem Wasserstoff nicht mehr wirtschaftlich rechnet: „Überspitzt gesagt, hätte man dann nur noch Platz für den Tank, aber nicht mehr für die

Passagiere“, so Law. Für Langstreckenflugzeuge sieht die MTU daher dropinfähige Sustainable Aviation Fuels (SAFs) im Einsatz.

*„Die Brennstoffzellen können entweder im Rumpf möglichst nahe des Wasserstoffs platziert werden oder in der Gondel möglichst nahe des Elektromotors.“*

**Jochen Kaiser,**

Leiter für visionäre Flugzeugkonzepte beim Bauhaus Luftfahrt

Zusätzlich zur Herausforderung der Integration des Flüssigwasserstofftanks stellt sich bei Flugzeugkonzepten mit Brennstoffzellen-Primärtrieb die Frage, wo eben jene Zellen am besten platziert werden sollten. „Es gibt zwei denkbare Varianten“, sagt Jochen Kaiser, Leiter für visionäre Flugzeugkonzepte beim Münchner Luftfahrt-Forschungsinstitut Bauhaus Luftfahrt. „Die Brennstoffzellen können entweder im Rumpf möglichst nahe des Wasserstoffs platziert werden oder in der Gondel möglichst nahe des Elektromotors“, so der Experte. Die Variante im Rumpf habe den Vorteil, dass sie nur kurze Wasserstoffrohrleitungen zu den Zellen benötigt. Der Nachteil ist, dass dafür längere Kabel zu den Elektromotoren verbaut werden müssen. Beim Einbau in die Gondel kehren sich Vor- und Nachteile um: die Elektrokabel werden

kürzer, die H<sub>2</sub>-Rohrleitungen länger. Aus Kaisers Sicht hat hier nach aktuellem Forschungsstand die Variante nahe den Elektromotoren zusätzliche Vorteile: Zum einen kann die Abwärme bei Brennstoffzellen-Stapel in der Gondel leichter abgeführt werden. Zum anderen käme sie mit bewährter Kabeltechnik aus.

### Brennstoffzellen nahe an den Elektromotoren sind am besten zu realisieren

„Bei Brennstoffzellen im Rumpf ist das anders“, sagt der Bauhaus-Luftfahrt-Wissenschaftler. Da das Spannungsniveau im Flugzeug aus Sicherheitsgründen begrenzt ist, müssen die Kabel deutlich dicker und schwerer ausgelegt werden, um die gleiche Menge Strom zu leiten. „Eine mögliche Lösung für dieses Problem wären Hochtemperatur-Supraleiterkabel – sie können bei deutlich weniger Gewicht viel mehr Strom leiten“, sagt Kaiser. Diese Technologie befinde sich aber noch im Forschungsstadium. Für Barnaby Law kommt daher nur der Einbau von Brennstoffzellen in der Gondel in Frage: „Das ist unsere MTU-Philosophie: Keine Experimente – außer im Bereich Forschung und Entwicklung. In der Umsetzung von Technologien bauen wir auf bewährte und beherrschte Technologien. Schließlich agieren wir im Luftfahrtsektor mit höchsten Sicherheitsanforderungen.“




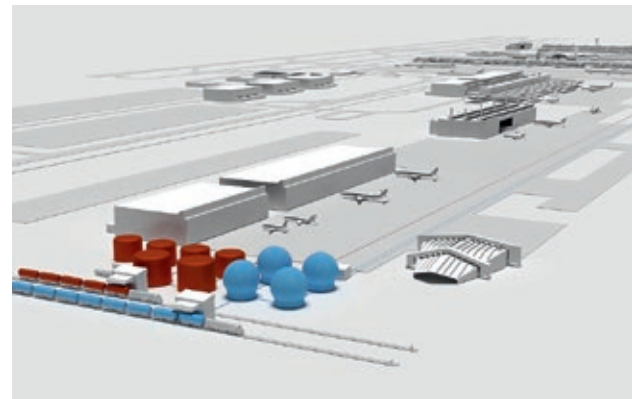
**Rumpfpropulsor** — Durch die vergrößerte Rumpfoberfläche eines Wasserstoffflugzeuges ergibt sich ein synergetisches Einsparpotenzial bei Anwendung eines Rumpfpropulsors.

*„In der Umsetzung von Technologien bauen wir auf bewährte und beherrschte Technologien. Schließlich agieren wir im Luftfahrtsektor mit höchsten Sicherheitsanforderungen.“*

### Barnaby Law

Chief Engineer Flying Fuel Cell der MTU

Die MTU sei aber sehr zuversichtlich, in den kommenden 15 bis 20 Jahren Wasserstoffantriebe in der Anwendung zu sehen. „Dabei setzen wir voraus, dass das Gros der Flughäfen weltweit bis dahin auch ihre Infrastruktur auf Wasserstoff angepasst haben“, sagt Law. „Das ist machbar“, sagt der MTU-Experte. Wie, das sei allerdings noch einmal ein ganz eigenes Thema. 



**Infrastruktur** — Parallel zum klassischen Kerosin muss die Infrastruktur an Flughäfen für die Logistik von flüssigem Wasserstoff angepasst werden.



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



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



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

# Realitäten erweitern

*In ihrem Inno Lab arbeitet die MTU daran, mit Hilfe von Augmented Reality (AR) die Arbeitsschritte am Triebwerk zu vereinfachen.*

**Autor:** Thorsten Rienth



**Schulterblicke von ganz weit weg:** — Augmented Reality (AR)-Technologien öffnen im Triebwerksgeschäft ganz neue Möglichkeiten. Die MTU arbeitet daran, mit Hilfe von AR die Arbeitsschritte zu vereinfachen.

So richtig mag das alles nicht zusammenpassen. Einmal ist da die Start-Up-Atmosphäre des Inno Lab bei der MTU Aero Engines mit seinen meterhohen Fenstern und hellen, ineinander übergehenden Räumen. Mit den Socializing-Ecken und großen Flachbildschirmen, mit seiner „Pitching Area“, der Testumgebung für Kamera-Computer-Systeme und dem 3D-Drucker. Wie aus der Zeit gefallen scheint vor diesem Rundblick das Lego®-Modell, das ein Zimmer weiter steht.

Doch dieser Schein trügt. Stattdessen ist die Lego®-Schubdüse eines EJ200-Triebwerks so etwas wie das Vehicle in eine neue Augmented Reality (AR)-Welt. In ihr könnten AR-Anwendungen bei vielen Arbeitsschritten im Triebwerksgeschäft – von der Bauteilmontage bis zur Befund- und Qualitätsanalyse – einmal wertvolle Unterstützung leisten.

## „Proof of Concept“ – und was die Lego®-Steine damit zu tun haben

Der Mann, der dafür die Grundlagen legt, heißt Thomas Staak und leitet die Technische Dokumentation der MTU. Er greift zum Tablet und hält es mit eingeschalteter Kamera vor das Schubdüsenmodell. Auf dem Display erscheint ein Werkzeug und öffnet eine Blende. Ein zweites Werkzeug kommt hinzu. Es stilisiert die Bewegung, mit der sich ein Segment der Schubdüse lösen und austauschen lässt.

Mit der Anleitung aus der erweiterten Display-Realität würde der Mechaniker den Arbeitsschritt nun in der Triebwerks-Realität umsetzen. „Gleichzeitig könnte ihm das System automatisch den Zugriff auf den entsprechenden Vorgang in der Maintenance-Dokumentation herstellen, beispielsweise, um ihm noch offene Instandsetzungsmaßnahmen anzuzeigen.“ Und wenn nötig, könnte sich ein Fachingenieur auf die Tablet-Kamera schalten und den Mechaniker unterstützen.

Eingebettet in einem Entwicklungsprojekt mit einem spezialisierten Hamburger Startup haben Staak und Kollegen die erste Etappe eines langen Weges bereits hinter sich. „Proof of Concept“ heißt der Fachterminus hinter der kurzen Vorführung mit dem Tablet und dem Modell: Das Machbare nachweisen. Zunächst hieß es das Prinzip einer solchen AR-Anwendung zu erproben. Mit Hilfe des Lego®-Schubdüsenmodells konnte die Darstellung des „echten“ Bauteiles erheblich vereinfacht und die Software anhand simpler Strukturen aufgebaut werden. Und einen weiteren Vorteil hat das Kunststoffmodell: Baustein für Baustein lassen sich die Modelle unkompliziert erweitern. Mit jeder Änderung, mit jeder neuen Detailstufe läuft bei Software wie Inge-




nieuren ein Lernprozess ab. „Außerdem haben unsere Kollegen vom Hamburger Startup das gleiche Modell bei sich stehen. So können wir gemeinsam immer wieder einzelne Funktionen der AR-Anwendung schnell und unkompliziert optimieren“.

Die Methodik hat also guten Grund. „Wir wollen strategisch lernen, wie Augmented Reality funktioniert und wie wir sie für unsere Bedarfe am gewinnbringendsten einsetzen können“, erklärt Staak die Vorgehensweise. Welche Hardware generiert Nutzwert, welche nicht? Wie lässt sich Künstliche Intelligenz-(KI)-Software integrieren, zum Beispiel für automatisiert ablaufende Schadensanalysen?

### Testprogramm für erste AR-Anwendung läuft bereits

Wer sehen will, was Staak mit alldem meint, muss seine Sektion im Inno Lab hinter sich lassen. Ein paar Hallen weiter, dort, wo die MTU das PW1100G-JM-Triebwerk für den Airbus A320neo montiert, lief eine der ersten AR-Anwendungen mit Tablet bereits im Test. Auch hierbei liefen die Entwicklungsschritte über ein – im Vergleich zur Schubdüse aber deutlich größeres und aufwendigeres – Lego®-Modell eines Geared Turbofan™. Bei der Anwendung geht es um assistierende Animationen und die computergestützte Prüfung, ob Brackets – dies sind kleine Aufhängungen für beispielsweise Ölleitungen am Triebwerk – an den richtigen Stellen und korrekt ausgerichtet montiert sind. Das Lego®-Modell ermöglicht den Ingenieuren, die Montage der Brackets zu erproben, ohne dabei echte, komplexe Module montieren oder demontieren zu müssen. Dafür wurden die Brackets sogar extra als Kunststoffbauteile im 3D-Drucker nachgedruckt.

Die künstliche Testumgebung bietet außerdem noch einen weiteren entscheidenden Vorteil: In der Montage sind die Abläufe sehr eng getaktet. Für Tests oder Erprobungen bleibt daher im Tagesgeschäft keine Zeit. Mit dem LEGO®-Modell können die Ingenieure nun auch im Büro prüfen und testen, wie die Brackets am Bauteil in Theorie montiert werden müssen.

Der Test in der PW1100G-JM-Montage zeigt aber auch, dass AR-Anwendungen an solchen komplexen Bauteilen nicht immer einfach sind. „Mal spiegelt eine Kante, mal ändert sich mit dem Lichteinfall ein Schattenwurf. Aber wir bekommen das mittlerweile ziemlich gut hin“, findet Thomas Staak. Und wenn einmal nicht? „Dann justieren wir nach.“ Kunstpause. „Und sind damit wieder ein Stückchen schlauer und besser geworden.“ 

**Erste AR-Anwendung im Test:** — Bei der Anwendung wird geprüft, ob Brackets an den richtigen Stellen und korrekt ausgerichtet montiert sind. So können Ingenieure die Montage der Brackets erproben, ohne dabei echte Module montieren oder demontieren zu müssen.



**Virtual Reality (VR)** ermöglicht es den Nutzern, eine virtuelle 360-Grad-Welt zu erleben, diese von allen Seiten zu betrachten, sich in ihr zu bewegen und mit dieser zu interagieren. Der Nutzer nimmt seine reale Umgebung hierbei nicht mehr wahr – er hat das Gefühl, in der virtuellen Welt vor Ort zu sein.



Bei **Augmented Reality (AR)** muss der Nutzer tatsächlich vor Ort sein, denn die reale Welt wird durch virtuelle Inhalte bloß angereichert. Über die betrachtete reale Welt werden in Echtzeit Textinformationen und Grafiken eingeblendet. Im Gegensatz zu VR wird daher bei AR die physische Realität weiterhin wahrgenommen.



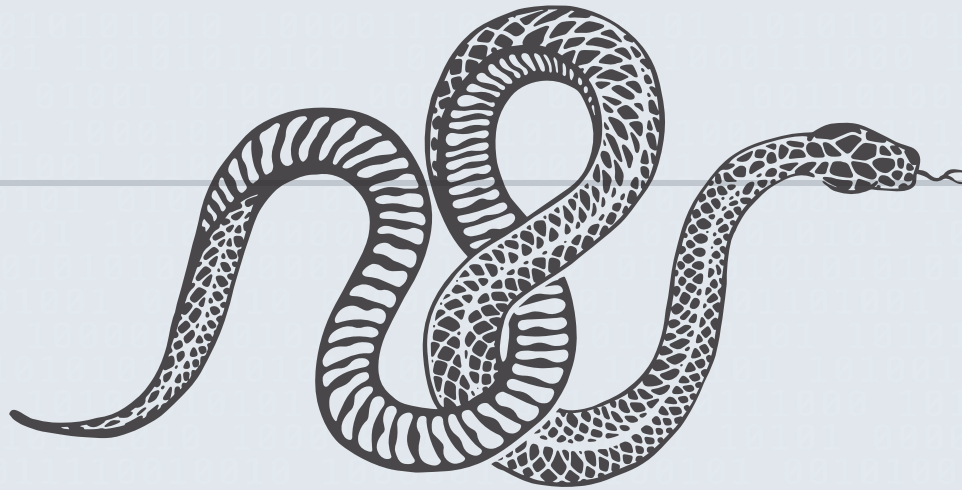
Fragen, Wünsche, Anregungen? Hier erreichen Sie die Redaktion:  
[aeroreport@mtu.de](mailto:aeroreport@mtu.de)



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



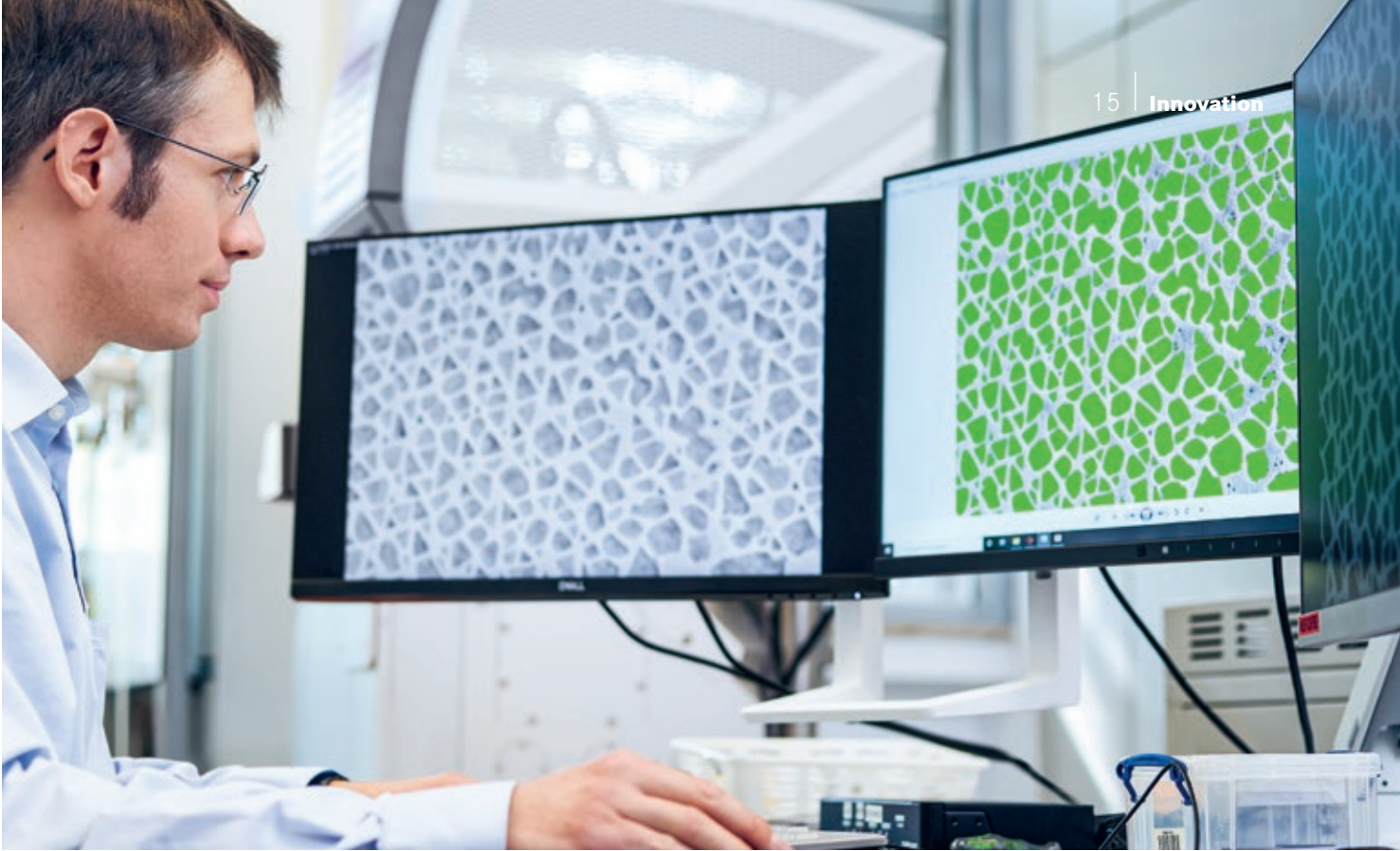
Autor:  
**Thorsten Rienth** schreibt als freier Journalist für den AEROREPORT. Seine technikkjournalistischen Schwerpunkte liegen neben der Luft- und Raumfahrtbranche im Bahnverkehr und dem Transportwesen.



## Bildanalyse mit Biss

*Für die Werkstoffentwicklung oder zur Qualitätsprüfung mussten Metallografen oft tagelang Mikroskop-Aufnahmen am PC bearbeiten. Die MTU-Software „Natter“ verkürzt diese Zeit auf Minuten.*

**Autor:** Denis Dilba



**Automatisierte Bildanalyse** — „Natter“ färbt eine Phase des Werkstoffes. Dadurch werden Werkstoffeigenschaften klassifiziert, womit beispielsweise eine beim Fliegen aufgetretene Überhitzung des Werkstoffs bewertet werden kann.

Wer Julian von Lautz und Dr. Hendrik Kramer bei einem Arbeitsgespräch oberflächlich zuhört, könnte durchaus auf die Idee kommen, dass die beiden Ingenieure gerade einen Besuch im Reptilien-Zoo planen. Da fallen Namen wie „Python“ und „Anaconda“, und immer wieder erwähnen sie auch eine „Natter“ – die sehr schnell sein soll. Informatiker wissen bereits bei den ersten beiden Stichworten, dass es sich hier nicht um Schlangen, sondern um die Programmiersprache „Python“ und dessen Toolkit „Anaconda“ handelt. Aber „Natter“? „Steht für ‚Neuronal Analysis Tool to evaluate rapid‘ und beschreibt eine neue Deep-Learning-Software, die die Bildanalyse in der Metallografie zur Werkstoffentwicklung, Qualitätsprüfung und Schadensanalyse auf ein vollkommen neues Level hebt“, klärt Dr. Hendrik Kramer auf, der in dem Team Werkstoffanalytik/Metallografie bei der MTU Aero Engines in München unter anderem für die Bildanalyse zuständig ist. Der Werkstoffexperte hat Natter zusammen mit Julian von Lautz, bisher Leiter der Schadensanalyse, und weiteren Kollegen von der Idee in die Anwendung gebracht. „Zugegeben, wir hatten erst den Namen Natter, dann haben wir die Beschreibung dazu gebastelt.“

Sowohl das Kürzel als auch seine Erklärung treffen aber auf den Punkt: Ähnlich, wie die Vertreter der weltgrößten Schlangenfamilie mit ihrem blitzartigen Biss Beute schnappen, klassifiziert die

MTU-Software mit Hilfe von künstlicher Intelligenz (KI) in bisher nicht bekannter Schnelligkeit Mikroskop-Aufnahmen von Metallen. Hochrelevant ist das insbesondere in der Werkstoffentwicklung, Qualitätsprüfung oder Schadensanalyse, wo Natter bereits erfolgreich für Nickelbasislegierungen zur Anwendung kommt. Hier entscheidet beispielsweise der prozentuale Anteil, der in dem Metall ausgebildeten Werkstoffphase  $\gamma'$ , über die Güte der Werkstoffeigenschaften bei hohen Temperaturen. Die Herausforderung bei der Analyse dieser Mikrostruktur-Bilder: Bisher musste sie teilweise noch mühsam per Hand durchgeführt werden. Im ersten Schritt teilt dabei ein Computerprogramm jeden Pixel je nach seinem Grauwert in hell oder dunkel ein und rechnet deren Flächenanteile zusammen.

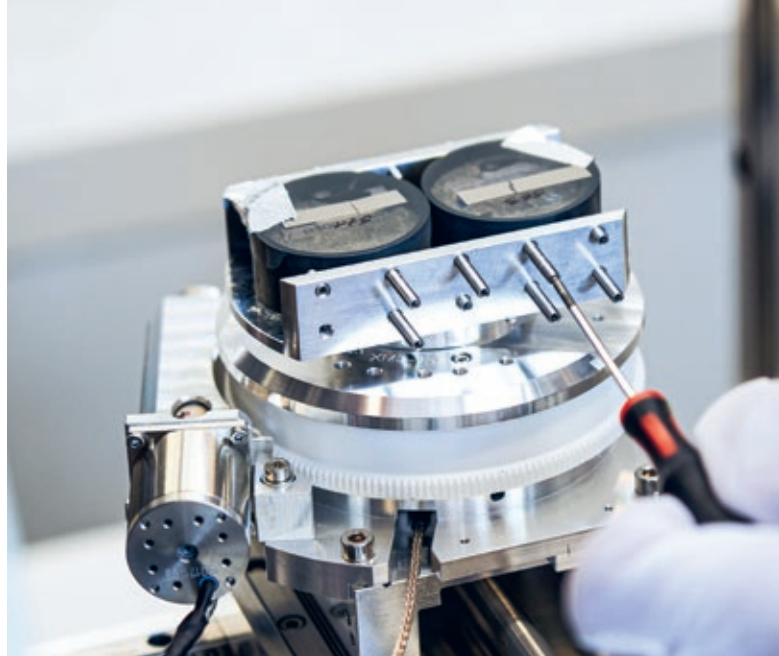
### **Der Wunsch nach einer automatisierten Bildanalyse war schon lange groß**

„Je nach Werkstoff müssen dabei auch noch einige Sonderregeln befolgt werden, etwa, dass man zusammenhängende helle oder dunkle Flächen nur ab einer bestimmten Größe und Form zählt oder abhängig davon, wie weit entfernt andere Flächen auftreten“, erklärt Bildanalyse-Experte Dr. Kramer. Das Ergebnis der alten Software ist ein Bild mit einer groben Vorauswahl von hellen und dunklen Bereichen – das dann ein Metallograf überprüft und






**Effizientes Arbeiten** — Die Metallografen sparen sich mit der neuen Software wertvolle Arbeitszeit. Früher brauchten sie pro Bildanalyse 30 Minuten, „Natter“ schafft dies bereits in 3 Minuten.



**Präzision** — Damit die beschädigten Bestandteile der Bauteile im Rasterelektronenmikroskop untersucht werden können, werden sie in Kunststoff eingebettet, geschliffen und poliert.

	<p><b>Natter</b> — steht für „Neuronal Analysis Tool to evaluate rapid“ und beschreibt eine neue Deep-Learning-Software der MTU für die Bildanalyse in der Metallografie zur Qualitätssicherung und Schadensanalyse.</p>	
<p>Segmentierung pro Bild:</p>	<p><b>5 Sek.</b></p>	
<p>Übereinstimmung des Analyseergebnisse mit menschlichen Prüfern:</p>	<p><b>96 %</b></p>	

verbessert. Der Vorgang, bei dem die Experten per Hand einzelne Flächen hinzufügen, wegklicken oder gar nachzeichnen, dauert beispielsweise eine halbe Stunde. „Da ein gesamter Analyseauftrag 60 Bilder umfassen kann, saßen unsere hochausgebildeten Metallografen manchmal eine knappe Woche am Rechner und klickten sich die Finger wund“, sagt Dr. Kramer. Die Idee und den Wunsch, diesen Vorgang mit Hilfe von KI zu automatisieren, gab es daher schon seit Jahren. Fast genauso lange waren allerdings die für dieses Problem nötigen Machine-Learning-Algorithmen nicht leistungsfähig genug.

Erst als von Lautz und Dr. Kramer vor gut drei Jahren auf eine spezielle Deep-Learning-Methode stießen, die kurz zuvor entwickelt wurde, kam die automatisierte Bildanalyse in Reichweite. Sie konzipierten kurzerhand eine studentische Masterarbeit, die

schnell darüber Aufschluss bringen sollte, ob der Ansatz tatsächlich ihr Problem lösen konnte. „Dass die neue Methode funktionieren wird, stand schon nach rund zwei Monaten Programmierarbeit fest“, erinnert sich von Lautz. Mit der nötigen sauberen Dokumentation, der weiteren Optimierung des Programmcodes und der Vorbereitung der Trainingsdaten haben sie ein gutes Jahr benötigt, um Natter fertig für den Einsatz zu machen, so die beiden MTU-Ingenieure. „Insbesondere den Aufwand für die Datenvorbereitung bei solchen Methoden sollte man nicht unterschätzen“, sagt Dr. Kramer. Für das Training der Deep-Learning-Software, nutzten sie 2.400 Bildpaare, bei denen die richtigen Lösungen zu den jeweiligen Aufgabenstellungen schon bekannt waren. Rund 2.000 davon zum Lernen, die restlichen 400, um den Trainings-Fortschritt zu prüfen.

**Natter verbessert die Bildanalyse-Performance um mindestens 90 Prozent**

Das Heraussuchen der Bildpaare habe dabei nur einen Teil der Arbeit ausgemacht, so der Bildanalyse-Experte. Mindestens ebenso aufwendig sei es gewesen, die Daten auf ein einheitliches Format zu bringen: „Die Aufnahmen stammen von verschiedenen Mikroskopen, sind unterschiedlich belichtet und zugeschnitten und haben unterschiedliche Auflösungen.“ Bis Natter mit dem Training auf einem einheitlichen Datensatz beginnen konnte, habe es mehrere Monate gedauert. Eine Mühe, die sich mehr als gelohnt hat: Die per KI automatisierte Bildanalyse braucht pro Bild gerade mal fünf Sekunden. Das Analyse-Ergebnis entspricht mit einer Genauigkeit von etwas mehr als 96 Prozent dem von menschlichen Prüfern. „Die Rechenzeit von Natter fällt damit nicht mehr ins Gewicht“, sagt Dr. Kramer. Trotzdem gehen die MTU-Ingenieure konservativ davon aus, dass ein Experte noch



**Unter die Lupe** — Bevor die Metallbeschaffenheit eines Bauteils mit Hilfe der Software analysiert wird, wird das Bauteil auf beschädigte Stellen untersucht.



**Weitblick** — Julian von Lautz ist davon überzeugt, dass solche KI-Verfahren mittel- bis langfristig zu einem virtuellen Assistenten für Luftfahrt-Ingenieure führen werden.

jedes automatisch ausgewertete Bild sichten und dann vielleicht jedes zehnte Bild nochmal von Hand kontrollieren muss.

„Selbst mit dieser Annahme braucht Natter anstatt 30 Minuten aber nur drei Minuten pro Bild“, sagt von Lautz. „Das ist ein Performance-Zuwachs von mindestens 90 Prozent.“ Und eine enorme Arbeitserleichterung für die Metallografen, die statt einer Woche nun nur noch zwei bis drei Stunden benötigen und so mehr Zeit für andere Aufgaben haben, beispielsweise die Entwicklung von neuen Werkstoffen. Die MTU sei mit der Umsetzung dieser automatisierten Bildanalyse damals ihrer Zeit voraus gewesen, so der Schadensanalyse-Leiter. „Zukünftig arbeiten wir daran, dass mit Natter neben Nickelbasislegierungen noch mehr Werkstoffe beurteilt werden können.“ Die beiden MTU-Ingenieure denken aber bereits noch weiter: „Grundsätzlich ist mit der neuen Methodik alles, was mit Bildverarbeitung zu tun hat, gut lösbar. Vor allem wenn das Problem nicht mathematisch beschrieben werden kann, aber es viele Trainingsdaten gibt“, sagt Dr. Kramer. Die Anwendung müsse nicht zwangsläufig im Bereich der Metallografie liegen. Von Lautz etwa ist davon überzeugt, dass solche KI-Verfahren mittel- bis langfristig zu einem virtuellen Assistenten für Luftfahrt-Ingenieure führen werden.

„Wie moderne KI-Diagnose-Programme Ärzten heute schon auf Röntgenbildern der Lunge automatisch Metastasen anzeigen, werden diese Geräte uns Ingenieuren helfen, den Blick bei Analysen und Prüfungen nur auf die relevanten Stellen richten zu müssen“, sagt von Lautz. So könne mit der gleichen oder einer höheren Qualität mehr in weniger Zeit geprüft werden. „Gerade in der Luftfahrtbranche, wo Sicherheit immer Trumpf ist,“ so der MTU-Experte, „gehört solchen KI-Lösungen die Zukunft.“

## DEEP LEARNING

*Deep Learning beschreibt spezielle Methoden des Gebietes Machine Learning und ist damit ein Teilbereich der Disziplin Künstlicher Intelligenz. Die dabei verwendeten Algorithmen basieren auf künstlichen neuronalen Netzen und sind lose von der Funktionsweise des menschlichen Gehirns inspiriert. Die Bezeichnung „deep“, zu Deutsch „tief“, rührt daher, dass die eingesetzten künstlichen neuronalen Netze viele hintereinanderliegende Rechen-Schichten aufweisen, die eine „tiefe“ Struktur bilden. So können Deep-Learning-Methoden nach entsprechendem Training mit geeigneten Daten besonders gut Muster in großen, unstrukturierten Datensätzen erkennen. Sie kommen daher unter anderem in Sprachassistenten, beim autonomen Fahren – und mit individuellen Anpassungen auch in der Qualitätsprüfung von Werkstoffen anhand Bilddaten zum Einsatz.*



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



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



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



# Frostschutz für Flugzeuge

*Vereiste Tragflächen stören die Aerodynamik und gefährden die Sicherheit. Ein neues Laserverfahren könnte Flugzeuge künftig schneller und effizienter enteisen.*

**Autor:** Denis Dilba









## Vereisung am Boden

- > Reifbildung z. B. über Nacht auf der Flugzeugoberfläche und an Propellern
- > Eisansatz am Flugzeug durch frostigen Niederschlag

Wenn die Tage im Herbst und Winter kalt werden, geht es Flugzeugen ganz ähnlich wie uns Menschen: Manchmal muss es eine heiße Dusche sein. Bei Passagierjets besteht sie allerdings aus Wasser-Glykol-Mischungen und kommt spätestens dann zum Einsatz, wenn die Tragflächen mit Eis und Schnee bedeckt sind. Denn das wirkt sich negativ auf die Aerodynamik aus. So erhöht etwa eine nur wenige Millimeter dicke Raureifschicht auf den Flügeln bereits signifikant den Luftwiderstand und verringert somit den Auftrieb. Bei sehr starker Vereisung, insbesondere der Flügelvorderkanten, droht schlimmstenfalls sogar der gefürchtete Strömungsabriss. Dazu kommt das Gewicht: Bei einem Airbus A320 bringt eine Fünf-Millimeter-Reifschicht auf den Flügeln schon bis zu 375 Kilogramm zusammen. Insgesamt steigt somit auch der Kraftstoffverbrauch deutlich an. Eine Enteisung vor dem Start gehört daher bei entsprechender Witterung zum Pflichtprogramm für Passagiermaschinen.

Am Flughafen München war das in der letzten Enteisungssaison von Oktober 2019 bis April 2020 5.291 Mal der Fall. Aus Sicht der Enteisungsmittelhersteller war das aber ein schlechter Winter: In der Saison davor war der Wert in München mit 10.572 noch doppelt so hoch. Aber selbst, wenn die Winter noch milder werden als der vergangene und die Flugzeuge am Boden eisfrei bleiben würden, besteht immer noch das Problem der Vereisung von Tragflächen während des Fluges. Das geschieht typischerweise im Sinkflug, wenn Flugzeuge aus ihrer Reiseflughöhe, auf der auch im Sommer Temperaturen bis zu minus 50 Grad herrschen können, in feuchtere Luftschichten eintauchen. Auf der eiskalten Außenhaut der Flieger frieren Wassertropfen blitzartig fest. Schutzsysteme, die das so gewachsene Eis ablösen können und die Eisbildung in der Luft zusätzlich hemmen, stehen daher seit langem weit oben auf der Agenda der Luftfahrtforscher. Schon seit den 1930er Jahren wurden verschiedenen Technologi-

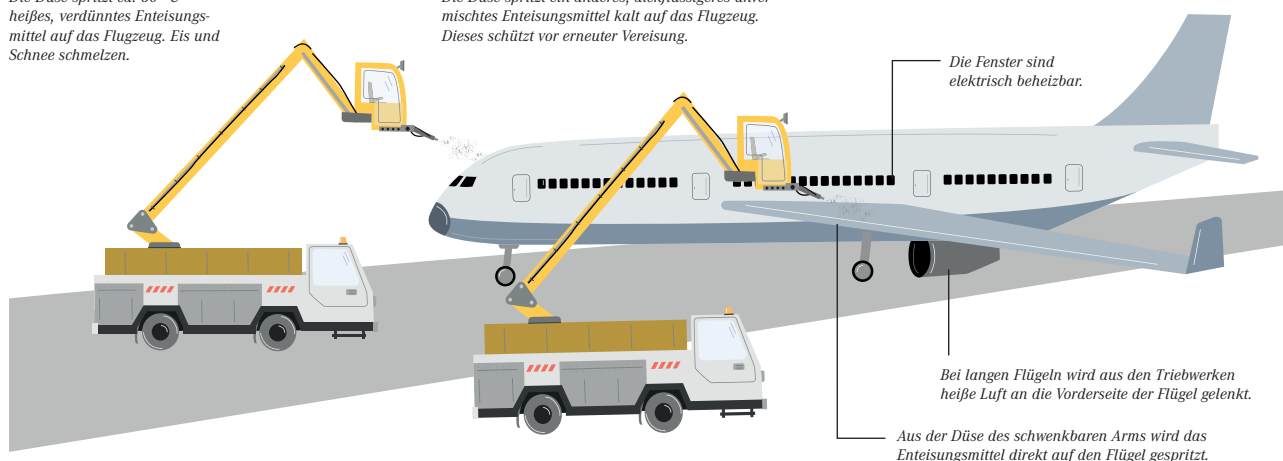
## KLASSISCHE ENTEISUNG EINES FLUGZEUGS

### 1. Schritt: De-Icing:

Die Düse spritzt ca. 80 °C heißes, verdünntes Enteisungsmittel auf das Flugzeug. Eis und Schnee schmelzen.

### 2. Schritt: Anti-Icing:

Die Düse spritzt ein anderes, dickflüssigeres unvermishtes Enteisungsmittel kalt auf das Flugzeug. Dieses schützt vor erneuter Vereisung.







## Vereisung während des Fluges

- > Anfrieren unterkühlter flüssiger Wolkentröpfchen nach dem Auftreffen auf dem kalten Flugzeug beim Flug durch Wolken
- > Anfrieren von größeren Wassertropfen am kalten Flugzeug beim Flug durch Niederschlag (Nebel, Regen, Niesel)
- > Anfrieren von festen Partikeln wie Schneeflocken oder Eiskristallen am Flugzeug beim Flug durch Niederschlag
- > Reifbildung auf der kalten Flugzeugoberfläche beim Einflug in wärmere, feuchte Luftschichten durch Resublimation
- > Eisbildung bei adiabatischer Expansion feuchter Luft im Vergaser von Kolbenmotoren beim Flug durch feuchte Luftmassen

en entwickelt, um Propeller, Rotoren, Triebwerkseinlässe, Flügel und Leitwerke vor Eis zu schützen.

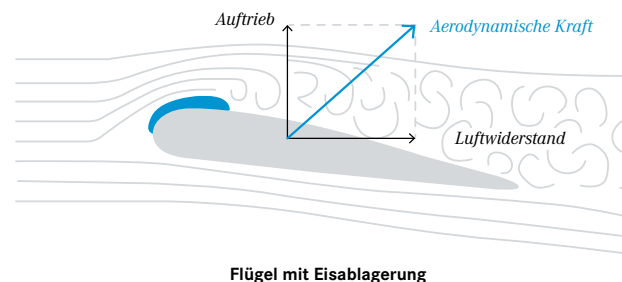
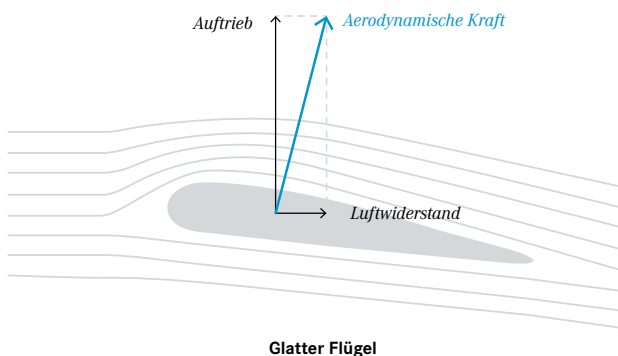
### Neue Anti-Eis-Technologien müssen hohe Anforderungen erfüllen

Bei vielen kleineren Propellermaschinen sind etwa die Flügelvorderkanten mit Gummibälgen ausgestattet, die sich aufpumpen lassen. Dehnen sie sich aus, platzt das Eis ab. Große Passagierflugzeuge setzen üblicherweise auf heiße Zapflucht aus den Triebwerken, die durch Rohrleitungen zu den Flügelvorderkanten geleitet wird. Die Methode funktioniert sehr gut, geht aber zu Lasten der Triebwerksleistung. Vereinzelt eingesetzte elektrische Flügelheizungen sind zwar effizienter, benötigen aber Batterien, die wiederum mehr Gewicht ins Flugzeug bringen. Optimierte technische Lösungen, die weniger Energie benötigen, um die Eisbildung in der Luft zu reduzieren oder am besten gleich ganz

verhindern, sind daher sehr gefragt. Ideen dafür gibt es einige: Beispielsweise wasser- und eisabweisende Mikrostrukturen, die per Folie auf die Flügeloberflächen geklebt oder direkt in sie eingearbeitet werden. Ebenso wird an mechatronischen Systemen gearbeitet, die das Eis mit hochfrequenten Schwingungen abschütteln sollen.

Für Passagierflugzeuge hat es allerdings bis heute keine dieser Ideen in die kommerzielle Anwendung geschafft. „Mechanische Beanspruchungen, wie Erosion durch Sand, Insekten und andere Verschmutzungen sowie hohe Temperaturunterschiede und insbesondere die Beständigkeit gegen hochenergetische UV-Strahlung sind hohe Anforderungen“, sagt Tim Kunze, Teamleiter der Gruppe Oberflächenfunktionalisierung am Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS in Dresden. Sein Team hat gemeinsam mit Airbus und der TU Dresden eine vielversprechende

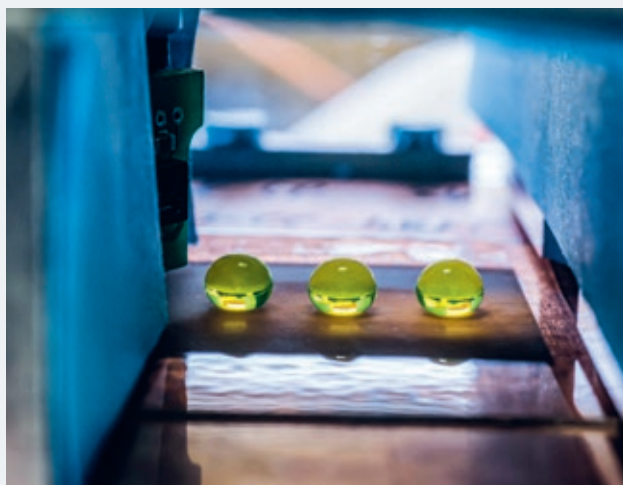
## VERÄNDERTER AUFTRIEB BEI EISABLAGERUNG



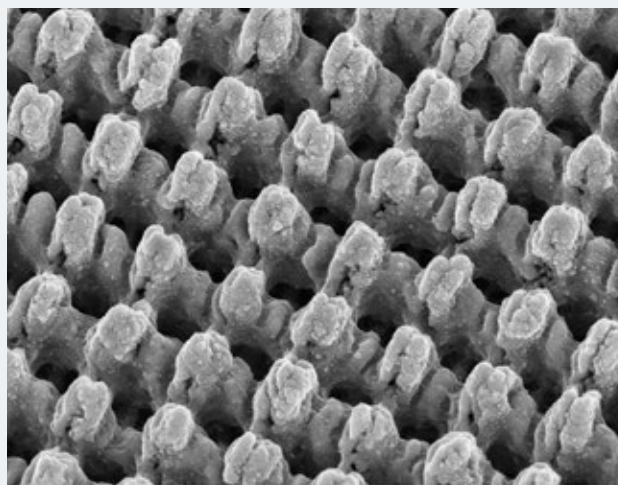
**Eisansatz am Flugzeug** — Eis beeinträchtigt die Aerodynamik vor allem durch verminderten Auftrieb und erhöht zugleich den Luftwiderstand sowie das Gewicht des Flugzeuges. Unter Vereisung wird die Ablagerung von Eis oder Reif auf Flugzeugen verstanden, die sich in der Luft oder am Erdboden befinden.

## TECHNOLOGIEN GEGEN EISBILDUNG

**Eisschutzsysteme für Passagierflugzeuge nutzen bisher hauptsächlich heiße Zapfluft aus den Triebwerken. Effizientere Lösungen sind in Arbeit – eine Auswahl verschiedener Ansätze:**



**Eisabweisende Folien** — So wie Wasser von einem Lotosblatt abperlt, soll Eis auf Folien mit entsprechenden Mikrostrukturen gar nicht erst wachsen können. Das Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB erzeugt solche eisabweisenden Oberflächen auf Polyurethan-Folien per Plasmaabscheidung. Eine der Herausforderungen: Einen beständigen Kleber zu finden, der solche Folien jahrelang sicher mit den Tragflächen verbindet.



**Direkte Mikrostrukturierung** — Auch diese Methode macht Oberflächen eisabweisend – die Mikrostrukturen werden hier aber direkt im Flügelmaterial erzeugt. Das Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS setzt dafür auf die sogenannte direkte Laserstrahlinterferenz. Das Verfahren erzeugt besonders komplexe Mikrostrukturen und sei sehr wirtschaftlich, so die IWS-Forscher. Flugtests zeigten bereits positive Ergebnisse.



**Elektrisch beheizbare Lacke** — Die auf Anti-Eis-Technik spezialisierte Villingen GmbH aus Österreich entwickelt polymere Halbleiterlacke, die Strom leiten und beheizbar sind. Sie werden bereits für Kleinflugzeuge eingesetzt. Eine ähnliche Idee verfolgt das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Hier werden Carbon-Nanotube-Schichten unter Schutzlacken erhitzt, um die Eisbildung auf Oberflächen zu verhindern.



**Hochfrequente Schwingungen** — Ingenieure des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) wollen das Eisproblem im wahrsten Sinne des Wortes einfach abschütteln. Dazu versetzen sie vereiste Tragflächen mit Aktuatoren gezielt in hochfrequente Schwingungen. Das Eis löst sich so und fällt ab. Die Technik soll effizienter als das gängige Zapfluft-System bei Passagierflugzeugen sein. Einige Business-Jets enteisen per Schwingung bereits ihre Leitwerke.

## EIS IST NICHT GLEICH EIS



**Klareis** —  
 Unter Klareis – auch Glatteis – versteht man in der Meteorologie diejenige wetterbedingte Eisablagerung, die sich als völlig durchsichtiges, glasartiges Eis bei gefrierendem Regen, Sprühregen und ähnlichem Niederschlag bildet.



**Raueis** —  
 Raueis oder Raufrost ist ein fester Niederschlag, der sich vor allem bei hohen Windgeschwindigkeiten und einer Lufttemperatur von typischerweise  $-2$  bis  $-10$  °C aus unterkühlten Nebelwassertropfchen an Oberflächen bildet.

Laserbehandlung für Oberflächen entwickelt, die zwei Fliegen mit einer Klappe schlägt: Zum einen haftet Eis auf der so erzeugten Mikro- und Nanostruktur schlechter und fällt ab einer gewissen Schichtdicke von alleine ab. Zum anderen ist in Kombination mit elektrischen Heizsystemen weniger Energie zum Enteisen nötig.

### Per Laser erzeugte Mikrostrukturen versprechen hohes Enteisierungspotenzial

„Die Direkte Laserinterferenzstrukturierung (DLIP) kann perspektivisch die Nutzung der wenig umweltverträglichen Enteisierungsmittel am Boden reduzieren, den Kraftstoffverbrauch senken – und auch die Wartezeit für die Fluggäste während der Enteisierung verkürzen“, sagt der Fraunhofer-IWS-Forscher. Zudem werde sich auch das Fluggewicht aufgrund potenziell kleinerer elektrischer Heizaggregate verringern. „Das ist mit Blick auf die Elektrifizierung der Luftfahrt interessant“, so Kunze. Die Anfang Oktober 2020 im Fachmagazin „Advanced Materials Interfaces“ veröffentlichten Vergleichs-Tests an miniaturisierten Tragflächen zeigten, dass Eis bei gleicher Heizleistung an DLIP-Oberflächen bis zu 90 Prozent schneller verschwindet als bei unbehandelten Flächen. Um das gleiche Enteisierungsergebnis bei unbehandelten Oberflächen zu realisieren, bräuchte man

rund fünf Mal mehr Heizleistung, sagt Kunze. Projektpartner Elmar Bonaccorso, Materialwissenschaftler bei Airbus, ist zufrieden mit den Labor-Ergebnissen: „Jetzt müssen wir die Funktion der DLIP-Bearbeitung in der Praxis beweisen.“

Seit zwei Jahren laufen daher parallel bereits Flugtests mit einem Airbus A350, an dem eine entsprechend bearbeitete Oberfläche angebracht wurde. „Die Mikrostruktur ist stabil geblieben“, so der Airbus-Forscher. Das sei ein großer, aber nur ein halber Erfolg: „Wir suchen noch eine zusätzliche chemische Beschichtung für die DLIP-Struktur, die ihre Funktion weiter verbessert“, sagt Bonaccorso. Erst damit sei die Technologie reif für den Einsatz. Kunze und sein Team optimieren derweil die Wirtschaftlichkeit des DLIP-Verfahrens und kooperieren dazu bereits mit Laserherstellern. Darüber, wann DLIP-Oberflächen in Serie gehen könnten, möchten beide Forscher nicht spekulieren. „Wir sind noch in der Vorentwicklung und müssen zunächst den ersten Schritt zu Ende gehen, bevor wir verlässlich über einen möglichen Zeitrahmen sprechen können“, sagt Bonaccorso. „Aber im Sinne der Verringerung der Kosten für die Umwelt, arbeiten wir natürlich so schnell wie möglich.“

*„Die Direkte Laserinterferenzstrukturierung (DLIP) kann perspektivisch die Nutzung der wenig umweltverträglichen Enteisierungsmittel am Boden reduzieren, den Kraftstoffverbrauch senken – und auch die Wartezeit für die Fluggäste während der Enteisierung verkürzen.“*

#### Tim Kunze

Teamleiter der Gruppe Oberflächenfunktionalisierung am Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS in Dresden



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



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



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

**MTU-STANDORTE WELTWEIT:**

- |   |   |
|---|---|
| <b>01</b> __ MTU Maintenance Canada         | <b>09</b> __ MTU Maintenance Berlin-Brandenburg |
| <b>02</b> __ MTU Maintenance Dallas         | Pratt & Whitney Canada                          |
| <b>03</b> __ Vericor Power Systems          | Customer Service Centre Europe                  |
| <b>04</b> __ MTU Aero Engines North America | <b>10</b> __ MTU Aero Engines, Hauptsitz        |
| <b>05</b> __ MTU Maintenance do Brasil      | Aerospace Embedded Solutions                    |
| <b>06</b> __ Ceramic Coating Center         | <b>11</b> __ EME Aero                           |
| <b>07</b> __ MTU Maintenance Lease Services | MTU Aero Engines Polska                         |
| SMBC Aero Engine Lease                      | <b>12</b> __ MTU Maintenance Serbia             |
| <b>08</b> __ MTU Maintenance Hannover       | <b>13</b> __ MTU Maintenance Zhuhai             |
|   | <b>14</b> __ Airfoil Services                   |



# Das Gegenteil von Stillstand

*Die MTU gibt Gas und baut ihre MRO-Kapazitäten weiter aus. Drei Standorte berichten.*

**Autorin:** Nicole Geffert

Eines ist gewiss: Stillstand gibt es nicht für die MRO-Spezialisten der MTU Aero Engines. Um ihre Kunden noch besser bedienen zu können und ihren Ruf als Maintenance-Profis zu festigen, erweitert sie ihre Service-Leistungen und ihren Support – wie die drei MTU-Standorte in China, Polen und Serbien beispielhaft zeigen.

Im Jahr des Büffels feiert die MTU Maintenance Zhuhai ihren zwanzigsten Geburtstag. Fast möchte man rufen: „Bist du aber groß geworden!“ Und richtig: Seit ihrer Gründung setzt das erfolgreiche Joint Venture von MTU und China Southern Airlines

kontinuierlich auf Wachstum. Der Shop wurde gerade erst erweitert und die 3.000er Marke geknackt, das heißt 3.000 instandgesetzte Triebwerke. Ein zusätzlicher Standort ist geplant. Zurzeit macht sich die Mannschaft fit für den Shop-Neuling: das PW1100G-JM.

Die neueste Generation der GTF™-Triebwerke von Pratt & Whitney ist im Shop von EME Aero im polnischen Jasionka bereits angekommen. Mit hohem Einsatz arbeiten die MRO-Experten des Joint Ventures von Lufthansa Technik und der MTU an der In-

**MTU-STANDORT:****Jasionka | Polen**

**EME Aero** — Das Joint Venture von Lufthansa Technik und MTU Aero Engines ging 2020 an den Start und setzt als einer der weltweit modernsten und größten Shops für die neueste Generation der GTF™-Triebwerke von Pratt & Whitney neue Maßstäbe.

**MTU-STANDORT:****Zhuhai | China**

**MTU Maintenance Zhuhai** — Das Joint Venture von MTU Aero Engines und China Southern Airlines ist Instandhaltungs-Spezialist für CFM56-, V2500- und LEAP-Triebwerke – und wächst weiter. Neu im Shop ist das PW1100G-JM von Pratt & Whitney.

**MTU-STANDORT:****Stara Pazova | Serbien**

**MTU Maintenance Serbia** — Mit dem neuen Reparaturwerk für Triebwerksteile erweitert die MTU Aero Engines ihr weltweites Standort-Netzwerk. Der Shop wird 2023 seine MRO-Aktivitäten starten. Geplant sind 470.000 Reparaturstunden pro Jahr.

standhaltung des PW1100G-JM. Der Shop glänzt mit einer High-tech-Flowline, dessen innovatives und ganzheitliches Montagekonzept Experten der MTU in München entwickelt haben. Und das nächste Highlight kündigt sich bereits an. Bis Mitte des Jahres sind die Teams bereit für die Instandsetzung des PW1500G.

Im serbischen Stara Pazova in der Nähe von Belgrad startet eine neue Mannschaft durch. Dort errichtet die MTU einen Reparaturbetrieb für Triebwerksteile: die MTU Maintenance Serbia. Damit schafft sie für ihre Kunden weitere Kapazitäten für Instandhal-

tungsleistungen. 2023 soll der Betrieb starten. Im ersten Schritt sind 470.000 Reparaturstunden pro Jahr geplant. Ein Team von MTU-Spezialisten aus unterschiedlichen Bereichen ist derzeit aktiv, um den neuen Maintenance-Schritt für Schritt zu planen und aufzubauen.

Eines haben sämtliche MTU-Standorte weltweit gemeinsam: Für ihre Kunden geben sie alles, um qualitativ hochwertige Leistungen und erstklassigen Service zu bieten.





**MTU-STANDORT:**

## Stara Pazova | Serbien

**Beste Bedingungen** — Die MTU Maintenance Serbia liegt in der Nähe von Belgrad, dem wirtschaftlichen und politischen Zentrum von Serbien. Das Industriegebiet in Stara Pazova ist nur 25 Kilometer vom internationalen Flughafen entfernt, hat Wachstumspotenzial und eine gute Verkehrsanbindung.

# Verstärkung für den MRO-Spezialisten

*Im serbischen Stara Pazova errichtet die MTU Aero Engines mit der MTU Maintenance Serbia einen neuen Standort für die Reparatur von Triebwerksteilen. Damit schafft sie weitere Kapazitäten für Instandhaltungslösungen.*

**Autorin:** Nicole Geffert

Noch ist dort, wo die MTU Aero Engines ihren neuen Reparaturstandort errichtet, eine grüne Wiese. Doch beschaulich geht es in dem neu ausgewiesenen Industriegebiet im serbischen Stara Pazova nicht zu. Im Gegenteil: Ab 2021 werden auf dem 26 Hektar großen Gelände, das die MTU erworben hat, Baufahrzeuge, Bagger und Kräne im Einsatz sein. Ein neues Werk entsteht: die MTU Maintenance Serbia. Ab 2023 werden dort Reparaturspezialisten der MTU die ersten Triebwerksteile bearbeiten.

Serbiens Präsident Aleksandar Vučić würdigte das Engagement der MTU als wesentlichen und entscheidenden Baustein in der Entwicklung der Luftfahrtindustrie in Serbien. Die MTU ist Pionier und findet sehr gute Bedingungen vor. Das Industriegebiet in Stara Pazova liegt nur 25 Kilometer vom internationalen Flug-

hafen Nikola Tesla Belgrad entfernt und punktet mit einer guten Verkehrsanbindung.

„Das Industriegebiet hat Wachstumspotenzial – zum Beispiel für die Ansiedlung von unseren Zulieferern und Partnern“, sagt Rainer Becker, Projektleiter und Managing Director der MTU Maintenance Serbia. Hoch- und Berufsschulen, um Fachkräfte auszubilden, sowie Wohnungen für die künftigen Mitarbeiter gibt es im Großraum Belgrad.

### **470.000 Reparaturstunden pro Jahr**

Die Tinte unter dem Vertrag war kaum getrocknet, als Becker und sein Team bereits intensiv in die Planungen des neuen MRO Repair Shops eingestiegen sind. Zuerst musste das Produktportfolio



**MTU Maintenance Serbia** — Der Standort entsteht in Stara Pazova und soll ab 2023 seinen Betrieb aufnehmen.

festgelegt werden. Welche Triebwerksteile sollen künftig bei der MTU Maintenance Serbia repariert werden? Mit welchen Arbeitsumfängen ist zu rechnen?

„Im ersten Schritt ist eine Kapazität von 470.000 Reparaturstunden pro Jahr geplant“, sagt Holger Sindemann, der als MRO-Bereichsleiter bei der MTU auch für die MTU Maintenance Serbia zuständig ist. Die weltweiten Standorte der MTU Maintenance leisten jährlich rund 1,9 Millionen Reparaturstunden. Der neue Shop in Serbien ist eine weitere Verstärkung. „In die Planungen des neuen Standorts konnten wir Know-how von den Maintenance-Standorten weltweit einfließen lassen.“

### Komplexe Maschinen frühzeitig ordern

Ein Team von rund 30 MTU-Spezialisten aus den Bereichen Reparatur-Technologien, Qualität, Logistik, Finanzen und Personalwesen ist bereits aktiv, um den neuen Maintenance-Standort aufzubauen. Das MTU-Büro in Belgrad ist bezogen. Das Projektteam hat die Anlagen- und Prozesstechnologien definiert. So können vor allem die komplexen Maschinen mit einer langen Lieferzeit frühzeitig beschafft werden. Sämtliche Arbeitsbereiche mussten bestimmt und das Gebäude-Layout entsprechend festgelegt werden, damit die beauftragten Architekten an den Plänen für den Shop arbeiten können. Wie werden die Abläufe im Shop sein? Wo sind welche Anlagen zu installieren? Welche Gebäudetechnik ist erforderlich, um die Versorgung mit Strom, Wasser und Druckluft sicherzustellen?

### Lizenzen und Zulassungen

Auf alle Fragen gibt es Antworten. „Sämtliche Planungen erfolgen in enger Abstimmung mit den zuständigen Behörden in Serbien, damit das neue Gebäude allen Vorschriften und Spezifikationen entspricht“, erklärt der Projektleiter. Er und sein Team leiten zudem alles in die Wege, um die Lizenzen der OEMs und Kunden für die Reparatur der Triebwerksteile auf den neuen Standort zu erweitern. Auch die erforderlichen Zulassungen durch Luftfahrtbehörden wie dem Luftfahrtbundesamt müssen beantragt werden.

Mit dem Bau des neuen Reparaturstandorts startet die MTU das Recruiting geeigneter Mitarbeiter sowie die Ausbildung zukünfti-

*„Im ersten Schritt ist eine Kapazität von 470.000 Reparaturstunden pro Jahr geplant.“*

### Holger Sindemann

Bereichsleiter MRO Operations und Geschäftsführer MTU Maintenance Hannover

ger Fachkräfte. Die Zusammenarbeit mit dem Bildungsministerium in Serbien sowie mit Universitäten, Schulen und der Aviation School in Belgrad hatte gezeigt, dass das Qualifikations-Niveau hoch ist. „Wir haben frühzeitig eine Werbekampagne gestartet, Kontakte geknüpft und uns vorgestellt. Wir sind begeistert von der Aufgeschlossenheit, dem großen Interesse und der konstruktiven Zusammenarbeit“, sagt Hans Triebenbacher, Leiter des Ausbildungszentrums Serbien bei der MTU.

### Duale Ausbildung der Fachkräfte

Um die vorhandene Qualifikation zu unterstützen, wird künftig eine Ausbildung in den Betrieben etabliert. Die MTU und die Regierung der Republik Serbien hatten 2019 eine Kooperationserklärung über eine enge Zusammenarbeit bei der dualen Ausbildung von Fachkräften – wie sie in Deutschland praktiziert wird – unterzeichnet. So werden die technischen Grundlagen sichergestellt, die für eine Hightech-Branche wie die Luftfahrt erforderlich sind. Das „On the Job Training“ findet zuerst an den MTU-Standorten in Deutschland und Kanada statt – mit dem Ziel, ab 2024 diese Ausbildung ausschließlich in Serbien durchzuführen.

Bis zum Jahr 2027 soll der neue Reparaturstandort auf rund 440 Mitarbeiter wachsen. Erklärtes Ziel der MTU ist, dieses Wachstum aus Serbien heraus zu schaffen. Projektleiter Rainer Becker: „Wir möchten die talentiertesten Mitarbeiter für die MTU gewinnen und ein Arbeitsumfeld schaffen, in dem sie ihre besten Leistungen erbringen können. Wir investieren gezielt in die Aus- und Weiterbildung unserer Talente und unterstützen sie dabei, ihr Know-how zu erweitern und ihr Potenzial zu entwickeln. Die MTU Maintenance Serbia wird vielen Menschen in der Region um Stara Pazova eine berufliche Zukunft sein.“




 MTU-STANDORT:

## Zhuhai | China

**Perfekte Lage** — Die MTU Maintenance Zhuhai ist in der südchinesischen Freihandelszone von Zhuhai angesiedelt. Der Standort profitiert von der Nähe zu den Industrie- und Handelszentren Hongkong, Guangzhou, Shenzhen und Macao. Serviceteams schaffen es in kürzester Zeit zu den Kunden vor Ort.

# Auf zu neuen Höhenflügen im Reich der Mitte

*Seit ihrer Gründung vor zwanzig Jahren ist die MTU Maintenance Zhuhai auf Wachstumskurs. Nachdem Shop und Kapazitäten gerade erfolgreich erweitert worden sind, plant sie jetzt den Aufbau eines zusätzlichen Standorts.*

**Autorin:** Nicole Geffert

Wenn Jaap Beijer das Werksgelände der MTU Maintenance Zhuhai betritt, hat er den Fortschritt vor Augen. „Wir haben die Erweiterung des Standorts Ende 2020 abgeschlossen und damit die Kapazitäten um 50 Prozent auf 450 Shop Visits pro Jahr erhöht“, sagt der Präsident und CEO der MTU Maintenance Zhuhai. Das erfolgreiche 50/50-Joint Venture der MTU Aero Engines und der China Southern Airlines Company Limited wurde vor 20 Jahren gegründet. Seitdem wächst das Unternehmen, das auch von seiner Lage in der Metropolregion Perlfussdelta, einer der wirtschaftlich stärksten Regionen Chinas, profitiert.

Seit im Mai 2001 der erste Betonpfeiler für das Fundament des damals neuen Standorts in den Boden getrieben wurde, ist die MTU Maintenance Zhuhai im Aufwind. Inzwischen ist sie die Nr. 1 in der Triebwerksinstandhaltung auf dem chinesischen Markt und hat sich als Spezialist für CFM56- und V2500-Triebwerke etabliert. 2019 wurden LEAP-Triebwerke ins Portfolio aufgenommen. Mit der jüngsten Erweiterung des Werks wuchs der Shop um rund 10.700 Quadratmeter, die sich in Betriebs- und Büroflächen sowie Sport- und Parkplätze für die Mitarbeiter aufteilen.

Beijer und sein Team blicken optimistisch auf das noch junge Jahr 2021: „Den MRO-Shop fahren wir nach der COVID-19-Krise mit steigender Marktnachfrage nach und nach auf seine volle Kapazität hoch. Inzwischen liegt die Auslastung unseres Shops wieder bei nahezu 100 Prozent.“

### Von Anfang an auf Wachstum ausgelegt

Als Senior Managerin für Projekte hat Anna Küpper die Erweiterung des Shops mit geplant und betreut. „Das Projekt war Neuland für mich und hat mich angespornt“, sagt die Wirtschaftsingenieurin Maschinenbau, die 2019 von der MTU Aero Engines in München zur MTU Maintenance Zhuhai wechselte. Engen Kontakt hielt sie während der Planungs- und Bauphase nicht nur zu den Produktions-Spezialisten der MTU Maintenance Zhuhai, sondern auch zur Fachabteilung bei der MTU in München, die Expertise und Erfahrung bei Bauprojekten vorweisen kann.

„Ausreichend Fläche für den Ausbau des Shops war vorhanden. Die MTU Maintenance Zhuhai war von Anfang an auf Wachstum ausgelegt“, sagt Anna Küpper. Bereits 2012 hatte das Unterneh-





**Instandhaltungsportfolio** — Der Standort bietet umfassende Service-Leistungen für CFM56, LEAP und V2500-Triebwerke an. Neu im Shop ist das PW1100G-JM.

men wegen der stetig steigenden Nachfrage nach MRO-Serviceleistungen im asiatischen Markt den Shop vergrößert und seine Kapazitäten um 50 Prozent von 200 auf 300 Shop Visits pro Jahr gesteigert. Die Mitarbeiter, die damals den Ausbau betreut hatten, sind nach wie vor an Bord und konnten ihr Know-how einbringen.

### Ausbau bei laufendem Betrieb

Die Erweiterung von Shop, Büro und Lager meisterten die Teams bei laufendem Betrieb. „Wir haben die frühere Außenwand so lange wie möglich stehen gelassen“, erläutert Anna Küpper. „Später sorgte eine feste Plane dafür, dass kein Staub von der Baustelle in die Produktion eindringen konnte.“ Und kein Wasser! Denn die Bauphase fiel in die Taifun-Saison.

Inzwischen haben die Teams die Büros bezogen. Der Umzug des Shops folgt. „Sämtliche Maschinen und Arbeitsplätze, die beweglich sind, erhalten durch die Erweiterung einen neuen Platz“, sagt die Projektmanagerin. Das detaillierte Shop-Layout für den High-tech-Maschinenpark wurde so festgelegt, dass kosteneffiziente Shop Visits und kurze Durchlaufzeiten garantiert sind.

80 Prozent der Teileinstandsetzungen führen die erstklassig ausgebildeten Mitarbeiter eigenhändig durch. Der Maschinenpark ist hochmodern, die Testzelle mit 150.000 Pfund Schub leistungsstark. Kurz vor dem Jahreswechsel wurde das 3.000ste Triebwerk ausgeliefert – ein V2500 des Joint Venture Partners China Southern Airlines. Die MTU Maintenance Zhuhai betreut mehr als 70 Kunden aus China, Asien und der ganzen Welt.

### Partner im MRO-Netzwerk des PW1100G-JM

Gerade erst konnte das Unternehmen einen weiteren Erfolg verkünden. Zu den Bestsellern im Shop kommt jetzt ein prominenter Neuling: das Pratt & Whitney GTF™ PW1100G-JM-Triebwerk, der Antrieb für den A320neo. Damit ist der Standort ein weiterer Partner im globalen MRO-Netzwerk des PW1100G-JM von Pratt & Whitney und wird sich um dessen Instandhaltung zuverlässig kümmern.



**Weiterentwicklung** — 2019 wurde das MRO-Portfolio des Standortes um LEAP-Triebwerke erweitert.



**Ausbau** — Die Standorterweiterung ist abgeschlossen und die bestehenden Kapazitäten wurden um 50 Prozent auf 450 Shop Visits pro Jahr erhöht.

Beijer und sein Team sind auf die neue Herausforderung bestens vorbereitet: „Den Hochlauf der PW1100G-JM-Kapazitäten haben wir bereits gestartet.“ Ab Mitte 2021 werden die ersten Antriebe im Shop erwartet. Geplantes Volumen: 1.000 Shop Visits in den nächsten zehn Jahren. „Wir sind der größte MRO-Anbieter für Narrowbody-Triebwerke in Asien“, so Beijer. „Mit dem PW1100G-JM als Neuzugang können wir unsere Wachstumsstrategie fortsetzen und den asiatischen Markt besser bedienen.“

*„Wir sind der größte MRO-Anbieter für Narrowbody-Triebwerke in Asien“*


**Jaap Beijer**

Präsident und CEO der MTU Maintenance Zhuhai

Das PW1100G-JM wird bereits von der MTU Maintenance Hannover und EME Aero in Polen, einem Joint Venture der Lufthansa Technik und der MTU, betreut. Zudem sind Teilreparaturen bei der MTU Maintenance Berlin-Brandenburg und der MTU Aero Engines in München in den besten Händen. „Dies ist jetzt der dritte Standort im MTU-Verbund, der über die vollen Demontage-, Montage- und Testkapazitäten für PW1100G-JM-Triebwerke verfügt“, sagt Michael Schreyögg, Vorstand Programme der MTU Aero Engines. „Wir sind gut auf ein Wiederanlaufen der zivilen Luftfahrt vorbereitet und werden unsere umfangreichen Erfahrungen bezüglich dieses Triebwerktyps nutzen, um damit unseren Ruf als MRO-Experten weiter zu festigen.“

### Zusätzlicher Standort im Distrikt Jinwan

Dazu passt, dass die MTU Maintenance Zhuhai den Aufbau eines zusätzlichen Standorts im benachbarten Jinwan-Distrikt plant. Der Shop wird sich auf Narrowbody-Triebwerke von P&W spezialisieren, über eine Testzelle mit 65.000 Pfund Schub verfügen und voraussichtlich rund 600 qualifizierte Mitarbeiter beschäftigen. Das Ziel ist klar: Der Shop soll eine anfängliche Jahreskapazität von 250 Shop Visits haben und voraussichtlich 2024 in Betrieb gehen.

Beijer, der beide Standorte leiten wird, sagt: „Die Nähe zur MTU Maintenance Zhuhai wird einen erheblichen Wissenstransfer und Synergien zwischen den beiden Standorten ermöglichen.“ Keine Frage, die MTU Maintenance Zhuhai will mit konsequentem Einsatz weiter wachsen. Diese Zielstrebigkeit passt auch hervorragend ins Jahr des Büffels, das am chinesischen Neujahrstag, dem 12. Februar 2021, beginnt – steht doch der Büffel für Stärke, Fleiß, Geduld und Ausdauer. 



**Jinwan-Distrikt:** — Die MTU Maintenance Zhuhai plant einen zusätzlichen Standort im Jinwan-Distrikt. Der Shop soll voraussichtlich 2024 in Betrieb gehen.

● **MTU-STANDORT:**

## Jasionka | Polen

**Exzellente Infrastruktur** — EME Aero liegt nahe des internationalen Flughafens Rzeszów. In der Sonderwirtschaftszone im Süden Polens haben sich mehr als 80 Firmen aus der Luftfahrtindustrie angesiedelt. In diesem polnischen Aviation Valley ist seit 2007 auch die MTU Aero Engines Polska aktiv.

# Von null auf hundert zum Hightech-Shop

*In Rekordzeit hat EME Aero seinen hochmodernen MRO-Shop für die Instandhaltung der GTF-Triebwerke von Pratt & Whitney aufgebaut. Highlight ist eine effiziente Flowline mit innovativem Montagesystem.*

**Autorin:** Nicole Geffert

In nur 18 Monaten vom Bau auf der grünen Wiese zu einem der weltweit modernsten und größten Shops für Pratt & Whitney (P&W) Getriebefan-Triebwerke (GTF™) – diesen Hochlauf hat EME Aero, ein Joint Venture von Lufthansa Technik und der MTU Aero Engines, gemeistert. „Dass uns das gelingt, wurde mehr als einmal für unmöglich gehalten“, sagt Derrick Siebert, CEO und Managing Director of Business bei EME Aero. „Es war eine enorme Herausforderung. Aber wir haben unsere `Mission impossible´ erfolgreich erfüllt.“

Im Januar 2020 nahm das Unternehmen, angesiedelt im polnischen Jasionka in der Nähe von Rzeszów, den Betrieb auf. „Die Mannschaft startete sofort durch“, sagt Robert Maślach, COO und Managing Director of Operations bei EME Aero. „Zuerst kamen Triebwerke im Rahmen des P&W-Retrofit-Programms für die Niederdruckturbinen in den Shop. Dann folgten die ersten Instandsetzungen von PW1100G-JM-Serientriebwerken.“



**Führungsspitze EME Aero** — Derrick Siebert, CEO und Managing Director of Business (rechts) und Robert Maślach, COO und Managing Director of Operations.





**Hochmoderner MRO-Shop** — EME Aero ist eines der weltweit modernsten und größten Instandhaltungsunternehmen für Triebwerke der neuesten Generation von Passagierflugzeugen. Die volle Betriebsfähigkeit ist für 2026 geplant, mit einer jährlichen Kapazität von mehr als 450 Shop Visits.



**Hightech-Flowline** — Die Triebwerke werden an bodengebundenen, frei beweglichen Trägern angebracht. Das Montage- und Tooling-Konzept wurde von Spezialisten der MTU in München gemeinsam mit dem EME Aero-Team entwickelt.

### Highlight ist die effiziente Flowline

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. Einen Shop komplett neu zu bauen, hat Vorteile. Das Projektteam konnte so das ideale Hallenlayout und den optimalen Prozessfluss realisieren. Weiteren Schub gab es durch die effiziente Zusammenarbeit der beiden Luftfahrtspezialisten

MTU und Lufthansa Technik. „Wir konnten Erkenntnisse und Best Practices beider Joint Venture Partner einbeziehen, also das Beste aus zwei Welten integrieren“, so Siebert.

Highlight des Shops ist eine Flowline, in der sich die Triebwerke durch verschiedene Demontage- und Montagestationen bewegen. Die Antriebe werden an bodengebundenen, frei beweglichen Trägern angebracht, die in die Produktionslinie hinein- und aus dieser herausgezogen werden können, ohne den Gesamtfluss zu stören. „Wir haben die neuesten und besten Technologien eingeführt, die derzeit auf diesem Gebiet existieren“, sagt Siebert. Zudem wurden die Entwicklungen neuer Technologien überall dort angestoßen, wo das Team Bedarf und Möglichkeiten zu Verbesserungen identifiziert hatte.

Um den Shop so effizient wie möglich zu gestalten, haben die Spezialisten vom Produktions- und Anlagenservice der MTU in München zusammen mit dem EME Aero-Team ein einheitliches Montage- und Tooling-Konzept für die verschiedenen Triebwerkstypen entwickelt. Herzstück sind zwei Systeme „made by MTU“: Die Komplettzerlegung wird in der Linie am Mobile Transport and Overhaul System (MTOS) durchgeführt, die Teilerlegung im Dock des Fixed Overhaul Systems (FOS). Seit Ende 2019 wurden bereits fünf FOS installiert, das MTOS wird im ersten Halbjahr 2021 in Betrieb gehen.

Das MTOS-System besteht aus ferngesteuerten Transporteinrichtungen, in denen das Triebwerk von einer zur nächsten Station gefahren und ergonomisch positioniert werden kann. Der Clou an den Konstruktionen ist der sogenannte Montageträger: Sobald

ein Triebwerk in den Shop kommt, wird das Kerntriebwerk mit ihm verbunden. Ohne weitere Rüstarbeiten vornehmen zu müssen, kann das Triebwerk nun unkompliziert in die einzelnen Module zerlegt werden. Da das fest installierte FOS denselben Adapter wie das fahrbare MTOS verwendet, ermöglicht das einen mühelosen Wechsel der Triebwerke zwischen den beiden Systemen.

### Die leiseste Testzelle der Welt

Nicht nur die Flowline, auch die Testzelle ist Hightech. „Das Datenübertragungssystem ist auf 200 Hertz ausgelegt – statt der sonst üblichen 50 bis 70 Hertz. Das heißt, wir können eine große Menge Daten verarbeiten, wenn die instandgesetzten Triebwerke ihren Abnahmelauf auf dem Prüfstand absolvieren“, erläutert der Leiter der Testzelle, Lutz Pfannenstiel, der vom Joint Venture Partner Lufthansa Technik zu EME Aero kam.

Herausragend ist die Testzelle auch beim Lärmschutz. „Sie ist aktuell die weltweit leiseste“, sagt MTU Senior Consultant Martin Köster, der Planung und Aufbau der Testzelle mit betreut hat. „An der Grundstücksgrenze, wo die Testzelle steht, dürfen bei einem Triebwerksprüflauf mit Take-off (Volllast) nicht mehr als 40 Dezibel erreicht werden. Der Prüfstand von EME Aero bleibt deutlich unter diesem Grenzwert und liegt damit an der Spitze.“

Die Testzelle zeichnet sich auch durch ihre Energieeffizienz aus. Ein Beispiel: „Die Triebwerke werden auf dem Prüfstand mit Druckluft gestartet, die von zwei Kompressoren erzeugt wird. Die dabei entstehende Wärme nutzen wir in der Aufrüsthalle für die Fußbodenheizung“, so Pfannenstiel.

### MRO-Service für Kunden weltweit

„Inzwischen kümmern sich rund 400 Mitarbeiter um die Instandhaltung der PW1100G-JM-Triebwerke“, sagt Mašlach. „EME Aero ist Partner im GTF-MRO-Netzwerk von P&W, das Kunden auf der ganzen Welt erstklassige MRO-Serviceleistungen anbietet.“

Bereits in ihrem ersten Jahr nach dem offiziellen Start hatte die Mannschaft Besonderes geleistet. „Nach Abschluss des Projekts zum Aufbau von EME Aero haben wir mit Unterstützung des MTU-Shops in Hannover und des Lufthansa Technik-Shops in Hamburg eine der steilsten Hochlaufkurven in der Geschichte der beiden Joint Venture Partner gestartet. Heute betreuen wir Kunden auf der ganzen Welt“, so Siebert. „Im Jahr 2021 werden wir den Wachstumspfad fortsetzen, bis wir die volle Kapazität von 450 Shop Visits pro Jahr erreichen.“



**Herausragender Prüfstand** — Die Testzelle ist aktuell die leiseste weltweit und zeichnet sich durch ihre Energieeffizienz aus.

*„Im Jahr 2021 werden wir den Wachstumspfad fortsetzen, bis wir die volle Kapazität von 450 Shop Visits pro Jahr erreichen.“*

#### Derrick Siebert

CEO und Managing Director of Business bei EME Aero

Die volle Betriebsfähigkeit ist für 2026 geplant. Dann wird EME Aero mehr als 1.000 qualifizierte Mitarbeiter beschäftigen.

„Bis Mitte 2021 werden wir die MRO-Fähigkeit für die Einführung der PW1500G-Triebwerke sicherstellen“, sagt Mašlach. „Wir blicken optimistisch in unsere Zukunft. Der starke Teamgeist aus dem Projekt und dem Hochlauf haben uns geprägt. Sie tragen in diesen herausfordernden Zeiten maßgeblich dazu bei, uns auf den noch bevorstehenden Ramp-up vorzubereiten.“



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



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



Autorin:

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





# Klimafreundliche Kurse

*Neben weiteren technischen Verbesserungen des Flugzeugs sollen künftig auch klimaoptimierte Flugrouten und kraftstoffsparende Anflugverfahren den Luftverkehr grüner machen.*

**Autor:** Denis Dilba

Der klimafreundliche Umbau des Luftverkehrs ist längst in vollem Gange. Effizientere Triebwerke, leichtere Verbundwerkstoffe und eine verbesserte Aerodynamik haben maßgeblich dabei geholfen, den Kerosinverbrauch von Flugzeugen in den vergangenen Jahrzehnten deutlich zu reduzieren. So konnte der Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch das kontinuierliche Wachstum des Sektors bereits erfolgreich gebremst werden. Und trotz der aktuellen Corona-Krise werden die Bemühungen, die Emissionen durch verbesserte Konstruktionen noch weiter zu senken, ungebrochen ambitioniert fortgeführt. Aber auch wenn technische Maßnahmen künftig noch mehr Treibstoff sparen können, ist allen Akteuren klar, dass die weitere Verbesserung des ökologischen Fußabdrucks der Branche auch in anderen Bereichen noch mehr Anstrengungen benötigt. Seit einigen Jahren steht daher neben der technischen vermehrt auch die operative Seite des Luftverkehrs im Fokus: Flugrouten, die hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das Klima optimiert werden, und ein besseres Flugverkehrsmanagement versprechen hier zusätzliche signifikante Beiträge zu einem umweltfreundlicheren Luftverkehr. Umwege und Warteschleifen sollen so minimiert werden.

„Eine ganze Reihe wissenschaftlicher Arbeiten hat in den letzten Jahren belegt, dass die Klimawirkung von Flugzeugemissionen stark ortsabhängig ist“, sagt Robert Sausen vom Institut für Physik der Atmosphäre am Deutschen Zentrum für Luft- und

Raumfahrt (DLR) in Oberpfaffenhofen. „Die Grundidee bei klimaoptimierten Flugrouten ist es, die Bereiche der Atmosphäre zu umfliegen, in denen sich aufgrund der vorherrschenden spezifischen Wetterlagen Emissionen besonders stark auswirken“, erklärt der Pionier in dieser Forschungsdisziplin. Heutzutage werden Flüge auf eine möglichst kurze Flugzeit und einen minimalen Kerosinverbrauch ausgelegt. Durch letztere Maßnahme habe die Luftfahrt zwar schon einen großen Schritt hin zu effizienteren Flugzeugen und einem grüneren Flugverkehr gemacht. „Um weitere Schritte gehen zu können, muss nun aber das Optimierungsziel geändert werden“, sagt Sausen. „Die CO<sub>2</sub>-Emissionen machen nämlich nur rund ein Drittel der gesamten Klimawirkung eines Flugzeuges aus.“

## **Langlebige Kondensstreifen vermeiden**

Die restlichen zwei Drittel setzen sich wiederum aus den Erwärmungseffekten durch langlebige Kondensstreifen (zwei Drittel) sowie der Ozonbildung infolge der Stickoxidemissionen zusammen. Eine kleinere Rolle spielten auch noch Wasserdampf und Rußpartikel, die bei der Kerosinverbrennung ausgestoßen werden, so Sausen. „Fasst man alle Faktoren in einer Klimakostenfunktion zusammen, die jedem Ort der Atmosphäre den aktuellen Wert der Gesamtklimawirkung zuordnet, kann man die Flugroute mit den kleinsten Auswirkungen auf das Klima berechnen“, sagt der Forscher. Seine Berechnungen haben gezeigt, dass die Kli-

# 1-2%

der gesamten langlebigen Kondensstreifen, die sogenannten ‚Big Hits‘,

# 80%

bewirken mehr als der Erwärmung



*„Ein bis zwei Prozent der gesamten langlebigen Kondensstreifen, die sogenannten ‚Big Hits‘, bewirken mehr als 80 Prozent der Erwärmung – es reicht also sich vorerst darauf zu konzentrieren.“*

**Robert Sausen**

Forscher am Institut für Physik der Atmosphäre am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

mawirkung so um 20 Prozent verringert werden kann – ohne technische Änderungen an den Flugzeugen. Rein theoretisch wäre laut Sausen noch mehr drin, wenn alle Maschinen zusätzlich etwas langsamer fliegen würden.

Der Experte schätzt, dass sich eine Gesamtberechnung von klimaoptimierten Flugrouten bei Flugverkehrsmanagern erst in 10 bis 15 Jahren durchsetzen könnte. Schneller hilft ihm zufolge die simple Meidung von Gebieten, in denen sich die langlebigen Kondensstreifen bilden. Die Maßnahme käme ohne große Eingriffe in das globale Luftfahrtsystem aus. Kondensstreifen machten einerseits den Löwenanteil am klimawirkenden Anteil der Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen aus, so Sausen. Andererseits brauche man nicht alle von ihnen zu verhindern. „Ein bis zwei Prozent der gesamten langlebigen Kondensstreifen, die sogenannten ‚Big Hits‘, bewirken mehr als 80 Prozent der Erwärmung – es reicht also sich vorerst darauf zu konzentrieren“, so der Atmosphärenphysiker. Da sich die Big Hits nur in sehr kalten und feuchten Luftschichten bilden, die oft nur wenige hundert Meter dünn sind, müsse man nur etwas tiefer oder höher fliegen, um ihre Bildung fast vollständig zu unterdrücken. Flugverbotszonen für Big-Hit-Bereiche oder Mautlösungen könnten schon in fünf Jahren kommen, schätzt der DLR-Wissenschaftler.

### **Kontinuierliche Sinkflüge und freiere Routenwahl**

Einfach ist eine Anpassung des Flugverkehrsmanagements in keinem Fall, kann Michael Finke vom DLR-Institut für Flugführung in Braunschweig bestätigen. Der Forscher koordiniert das Anfang dieses Jahres gestartete europä-

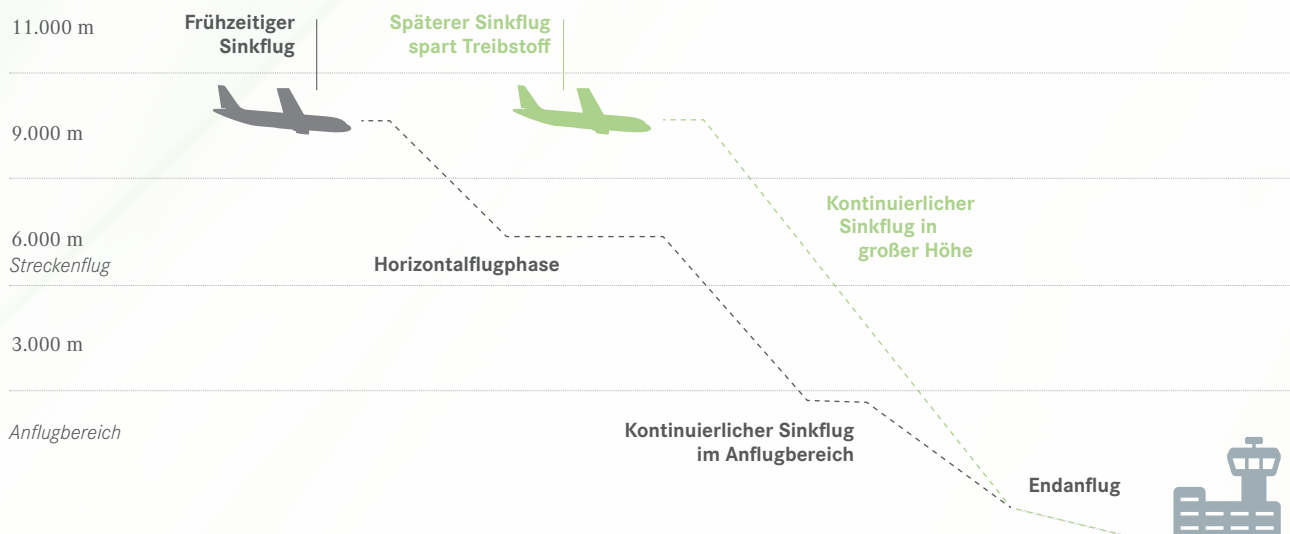
isch-chinesische Forschungsprojekt „Greener Air Traffic Operations“, kurz GreAT, das Flugzeuge künftig klimafreundlicher fliegen lassen will. Ziel sind hier, anders als bei Sausens Klimakostenfunktion, verminderte CO<sub>2</sub>-Emissionen. Allein das ist bereits ein entscheidender Beitrag zu einem umweltfreundlicheren Flugverkehr. „Heutzutage sind Umwege und Warteschleifen keine Seltenheit“, sagt Finke. Der Grund: Bei der Planung einer Flugroute spielen sehr viele Faktoren eine Rolle. Grundsätzlich verhindere etwa die benötigte Luftraumkapazität eine Minimierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen. „Die Flugzeuge müssen beispielsweise aus Sicherheitsgründen in verschiedenen Flughöhen gestaffelt werden – jede Maschine hat aber nur eine verbrauchsoptimale Flughöhe“, so der Experte. Ein anderes Thema seien auch die Gebühren, die beim Überflug von Ländern entstehen. Finke: „Airlines sparen hier, indem sie teure Länder umfliegen, erzeugen so aber wieder mehr CO<sub>2</sub>-Emissionen.“

Einen schon länger bekannten, vielversprechenden Ansatz sehen die GreAT-Forscher in sogenannten Continuous Descent Approaches (CDA), auf Deutsch: kontinuierliche Sinkflüge. „Dabei geht das Flugzeug direkt von seiner Reiseflughöhe in den Sinkflug über, der dann bis zur Landung beibehalten wird“, erläutert Finke. Gegenüber herkömmlichen Sinkflügen spart das Kraftstoff. Es gibt aber einen Haken: Da jedes Flugzeug ein anderes vertikales Flugprofil abfliegt, kommt es aufgrund der geltenden Abstandsregelungen zunächst zu Kapazitätsverlusten. „Unsere Aufgabe ist unter anderem, zu untersuchen, wie wir eine breite Anwendung der CDAs ohne Kapazitätsverluste realisieren können“, sagt der Projekt-Koordinator. Bei Langstreckenflügen, dem Teil von





### KONTINUIERLICHER SINKFLUG SPART KEROSIN



**Kontinuierlicher Sinkflug spart Kerosin** — Um den Kohlendioxid-Ausstoß bei der Landung zu reduzieren, haben die DFS (Deutsche Flugsicherung GmbH) und die Fluggesellschaften den kontinuierlichen Sinkflug weiterentwickelt: Die Flugzeuge beginnen nun später zu sinken. Simulationen für Anflüge zeigen, dass sich damit bis zu 85 Liter Kerosin pro Flug einsparen lassen. Quelle: Deutsche Flugsicherung (DFS)

GreAT, den die chinesischen Partner ins Auge fassen, könnten kürzere Routen durch eine freiere Routenwahl erzielt werden. „Aktuell ist das nur in einigen Ländern möglich. In anderen Regionen der Welt werden die Flugrouten strikter vorgegeben“, so der DLR-Forscher. „Es könnte schon viel verbessert werden, wenn die freie Routenwahl weltweit eingeführt würde.“

Insgesamt, erklärt GreAT-Koordinator Michael Finke, müsse man aber immer das Gesamtbild im Auge behalten: „Die Optimierung des Luftverkehrsmanagements ist ein Schritt hin zu nachhaltigem Fliegen. Von einem einzigen Mosaikstein darf man aber nicht die Komplettlösung für einen umweltfreundlichen Luftverkehr erwarten. Es muss an allen Fronten weitergearbeitet und -geforscht werden.“



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



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



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



# Die fliegende Feuerwehr

*Mit Flugzeugen und Helikoptern können Waldbrände schnell und effektiv bekämpft werden. Je nach geographischen Gegebenheiten kommen verschiedene Modelle zum Einsatz. Eine Übersicht.*

**Autor:** Denis Dilba





Löschflugzeuge über Australien, dem Amazonas-Regenwald, Indonesien, Kalifornien und der Arktis – immer wieder dominierten im vergangenen Jahr die Bilder von verheerenden Waldbränden die Nachrichten. Über 4,5 Millionen Feuer, die größer als einen Quadratkilometer waren, zählte die Online-Plattform Global Forest Watch Fires für 2019, 400.000 mehr Waldbrände als im Vorjahr. Auch wenn die Zahl 2004 schon mal bei gut fünf Millionen Bränden dieser Größe lag und grundsätzlich schwankt, ist klar, dass das Waldbrandrisiko global stetig zunimmt: „Durch den Klimawandel werden extreme Wetterlagen häufiger auftreten und damit auch zu extremeren Feuersituationen führen: Die Waldbrände haben durch zunehmende Trockenheit immer mehr Brennmaterial, sie werden heißer, größer, intensiver – und immer schwieriger zu löschen“, sagt Alexander Held, Waldbrand-Experte am European Forest Institute in Bonn. Dazu kommt, dass in dichtbesiedelten und bebauten Ländern wie Deutschland auch kleinere Waldbrände reichen, um viel Chaos und Schaden anzurichten, so der Fachmann.





*„In schwerer zugänglichen Gebieten, oder bei extremer Waldbrandgefahr, sind Lösflugzeuge aber die einzige Möglichkeit zum wirklich schnellen Erstangriff.“*

---

**Alexander Held,**  
Waldbrand-Experte am European  
Forest Institute in Bonn

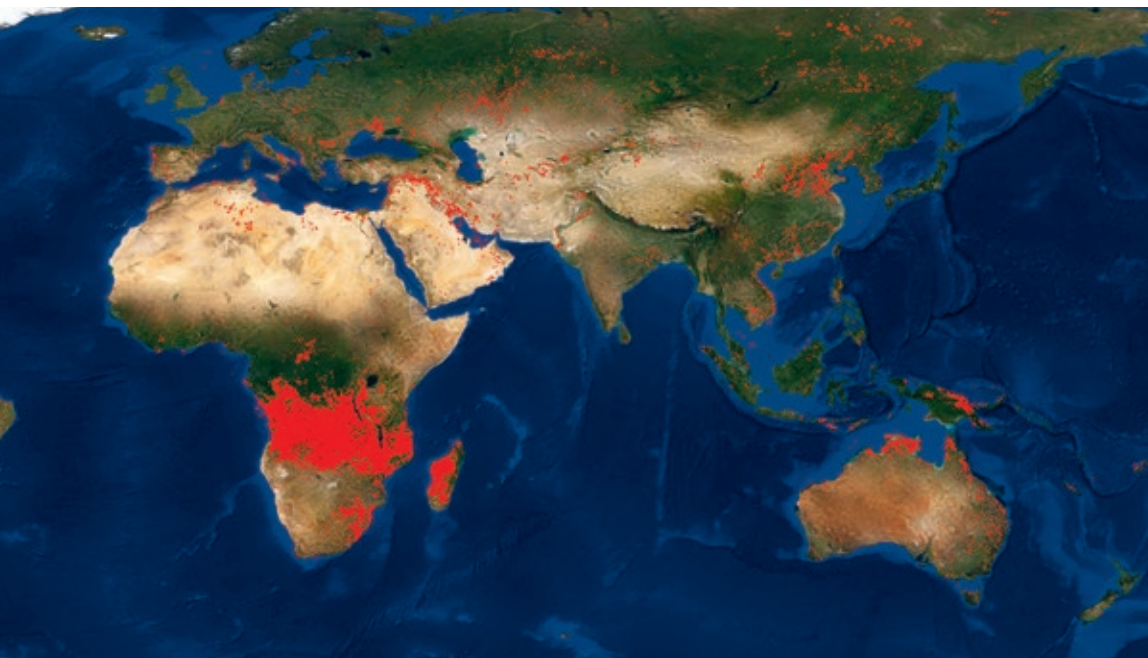
---

#### **Lösflugzeuge für einen möglichst schnellen und effektiven Erstangriff**

Wichtig sei es daher, möglichst schnell nach einem Waldbrandausbruch vor Ort zu sein, wenn die Feuer noch klein sind, seien die Lösmaßnahmen besonders effektiv, sagt Held. Wo das möglich ist, sollte das vom Boden aus geschehen. „In schwerer zugänglichen Gebieten, oder bei extremer Waldbrandgefahr, sind Lösflugzeuge aber die einzige Möglichkeit zum wirklich schnellen Erstangriff.“ Um schnell am Brandherd sein zu können, stehen die Maschinen am besten schon startbereit auf dem Rollfeld – oder sind noch besser schon auf Patrouillenflügen in der Luft. In den klassischen Waldbrandregionen Südeuropas wird das schon lange so gehandhabt. Wegen des auch hierzulande steigenden Waldbrandrisikos fordert Mike Goldhahn, Chef der Deutschen Lösflugzeug Rettungsstaffel DLFR, dass auch Deutschland Maschinen anschafft. „Insbesondere auch für die vielen munitionsbelasteten Flächen, allen voran in Brandenburg“, sagt Goldhahn. Anfangen könnte man mit drei Flugzeugen, „die und drei Piloten braucht man, um während der Saison ständig zwei Lösflugzeuge einsatzbereit zu halten.“ Langfristig halte er sechs bis acht Maschinen für sinnvoll.

Auch Alexander Held kann sich Lösflugzeuge in Deutschland vorstellen: „Da meine ich aber kleine Maschinen wie etwa den Air Tractor 802 – und nicht die großen Canadair-Amphibienflugzeuge, die in Südeuropa fliegen.“ Letztere arbeiten am effizientesten auf großen freien Wasserflächen, die es in Deutschland zu wenig gibt. Zudem sind die Canadair-Maschinen deutlich teurer als kleinere Lösflugzeuge. Auch Goldhahn setzt daher auf kleine Lösflugzeuge. Für alle Flugzeugtypen und auch Helikopter im Lösereinsatz benötigt man aber in jedem Fall erfahrene Piloten: Über den Bränden ist mit Turbulenzen zu rechnen, oft ist die Sicht durch Rauch schlecht. Dazu muss das Flugzeug beim Abwurf des oft tonnenschweren Löschwassers in stabiler Fluglage gehalten werden. Besonders herausfordernd ist bei den Amphibienlösflugzeugen die Wasseraufnahme während des Flugs: Der Pilot muss mit Wellengang, wechselnden Winden und Hindernissen auf der Wasseroberfläche rechnen.

Dazu kommt eine hohe Anspannung über mehrere Stunden, denn anders als etwa bei einem Linienflug werden Lösereinsätze ohne Autopi-



**Übersicht Brände weltweit** \_\_\_\_ Satellitenaufnahmen der NASA zeigen, wo es auf der Welt aktuell brennt: Jedes rote Pünktchen steht für ein Feuer: Auf der Feuer-Weltkarte der NASA erkennt man, dass weite Teile Zentral- und Ostafrikas knallrot sind. Es entsteht der Eindruck, ein Teil Afrikas stünde in Flammen. Allerdings sind die Punkte durch den Zoom nicht maßstabsgetreu, sondern zeigen sehr viele kleinere Feuer an. Die Brandherde bringen jedoch dort nicht nur Tod und Verwüstung, sondern sind das Lebenselixier der afrikanischen Savannen.  
<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map>



**Airbus Super Puma** \_\_\_\_ Der Hubschrauber der Bundespolizei kann 2.000 Liter Löschwasser aufnehmen.

loten geflogen. Die Piloten steuern nach Sicht und beim Flug mit Kontakt zur Wasseroberfläche auch ohne Hilfe der Informationen eines Towers. Dem über dem Feuer abgelassenen Wasser sind dabei oft chemische Zusätze beigemischt. Das erfolgt mit speziellen Mischapparaturen in den Löschmitteltanks oder -außenbehältern zum Teil auch in der Luft. Die Stoffe machen das Wasser gelartig, wodurch es besser an Bäumen und Büschen haften bleibt und sie effektiver vor den Flammen schützt. Löschsäume zur Waldbrandbekämpfung hingegen werden in der Regel vom Boden aus eingesetzt. Zusätzlich ins Wasser eingebrachte Farbe – in der Regel rot – hilft den Piloten zu erkennen, wo sie bereits waren.

**Ohne Feuermanagement am Boden nutzen Löscheinsätze aus der Luft wenig**

„In Deutschland braucht man für solche Löscheinsätze aus der Luft die sogenannte Sprühberechtigung“, erklärt Goldhahn. Die Lizenz gilt für Flugzeuge und auch für Löschhubschrauber. Letztere können Wasser mit sogenannten Löschwasser-Außenbehältern auch flexibel in kleineren nicht anderweitig genutzten Seen aufnehmen und es dann punktgenau an für Flugzeuge unzugänglichen Gebieten wie einer Hanglage in einem

engen Tal ablassen. Dazu müssen die Hubschrauber mit speziellen Außenlasthaken ausgestattet und idealerweise zusätzlich im Eigengewicht abgespeckt sein. Sonst können die Maschinen weniger oder gar kein Löschwasser aufnehmen. Feuerwehrexperten mahnen daher immer wieder an, während der Waldbrandsaison mehr große Helikopter wie etwa die Transportmaschine Sikorsky CH-53 der Bundeswehr einsatzbereit zu halten. Sie können im Vergleich mit einem kleinen Polizeihubschrauber mit 5.000 Litern die zehnfache Menge Löschwasser aufnehmen.

Löschhubschrauber und auch -flugzeuge alleine reichen aber zum Löschen eines Waldbrandes in der Regel nicht aus. „Entscheidend ist, dass wir zuallererst unsere Hausaufgaben im Feuermanagement am Boden erledigen“, sagt Alexander Held. Die Waldbrandbekämpfung aus der Luft kann nicht viel ausrichten, wenn wir keine gut ausgerüsteten und ausgebildeten Feuerwehrleute für den Waldbrandeinsatz haben und der präventive Brandschutz in den Wäldern vernachlässigt wird.“

**Die häufigsten Gründe für Waldbrände:**

- Hitze und Dürre
- Blitzeinschlag
- Fahrlässigkeit bei Waldbesuchern
- Brandstiftung / Brandlegung







**Global Supertanker** — Das Flugzeug wird für Großbrände angefragt. Die Piloten können wählen, ob sie die 72.680 Liter Wasser kontinuierlich oder in mehreren Intervallen ins Feuer regnen lassen.



**Canadair CL-215 und CL-415** — Die Amphibienflugzeuge werden von zwei Pratt & Whitney-Propellerturbinen angetrieben. Sie können im Überflug über die Wasseroberfläche 6.137 Liter Löschwasser aufnehmen.

### Global Supertanker

Weltweit sind verschiedene Löschflugzeuge im Einsatz – das größte von allen, der Global Supertanker, ist eine umgebaute Boeing 747-400. Die in den USA stationierte Maschine wird für Großbrände angefragt, wie etwa dem im Amazonas-Regenwald 2019. Ihre 72.680 Liter Löschwasser wirft der Lösch-Jumbo aus Höhen von 60 bis 90 Metern über dem Waldbrand und bei einer Geschwindigkeit von 278 km/h ab. Dabei können die Piloten wählen, ob sie das Wasser kontinuierlich oder in mehreren Intervallen ins Feuer regnen lassen. Der Supertanker braucht für seine Einsätze Flughäfen mit mindestens zwei Kilometer langer Start- und Landebahn.

### Canadair CL-215 und CL-415

Die wohl bekanntesten Löschflugzeuge der Welt sind die Canadair CL-215 und ihr neueres Schwestermodell CL-415. Ersteres wurde von dem kanadischen Hersteller Canadair entwickelt, der ab 1986 in Bombardier Aerospace aufging. 2016 wurde die Löschflugzeugsparte an das kanadische Unternehmen Viking Air verkauft. Angetrieben von zwei Pratt & Whitney-Propellerturbinen können die Amphibienflugzeuge im Überflug über die Wasseroberfläche Löschwasser aufnehmen. Die CL-415 benötigt für 6.137 Liter zwölf Sekunden und rund 400 Meter Strecke. Die typischerweise gelben Maschinen sind besonders bei Ländern mit großen und freien Wasserflächen und waldbrandgefährdeten Küstengebieten beliebt.

### Air Tractor AT-802F

Die kleine Air Tractor AT-802F des gleichnamigen US-Herstellers gilt als effizientestes und vielseitigstes Löschflugzeug am Markt. Die AT-802F kann 3.100 Liter Löschwasser aufnehmen – verglichen mit ihrer Größe überproportional viel. Dazu startet und landet das robuste Einpropeller-Flugzeug auch auf Schotter- und Graspisten. Wegen ihrer kleineren Abmessungen und dadurch besseren Manövrierfähigkeit kann die AT-802F auch in engen Tälern operieren. Ähnliche Qualitäten hat auch die PZL M18 Dromader des polnischen Herstellers PZL – ein Eindecker mit Air-Tractor-ähnlichen Dimensionen und 2.200 Litern Löschwasserzuladung.



**Air Tractor AT-802F** — Das effizienteste und vielseitigste Löschflugzeug kann 3.100 Liter Löschwasser aufnehmen und auf Schotter- und Graspisten starten und landen.





**Sikorsky CH-53** — Der große Sikorsky-Hubschrauber der Bundeswehr kann punktgenau Löschwasser (bis zu 5.000 Liter) abwerfen und Ausrüstung und Mannschaft in jedes Gelände transportieren.

### Helikopter im Löscheinsatz

In Deutschland kommen bei Waldbränden aktuell ausschließlich Helikopter zum Einsatz. Sie sind dazu mit Löschwasser-Außenbehältern verschiedener Größe ausgestattet. Kleinere Helikopter, wie der Airbus Helicopters H135, tragen rund 500 Liter, größere, wie die Airbus Super Puma der Bundespolizei, oder die sehr große Sikorsky CH-53 der Bundeswehr, 2.000 beziehungsweise 5.000 Liter. Mit Hubschraubern sind punktgenaue Löschwasserabwürfe und Transporte von Ausrüstung und Mannschaft in jedem Gelände möglich. Da die Feuerwehr in Deutschland selbst keine Maschinen unterhält, muss sie bei Waldbränden die Polizei oder die Bundeswehr anfragen.

### Drohnen gegen Waldbrände

Ausgestattet mit Wärmebildsensoren kommen Drohnen zunehmend zur Früherkennung bei Waldbränden zum Einsatz. In Brandenburg wird die Technik bereits getestet. Die Bilder aus der Luft und Daten über die Temperatur erleichtern es den Einsatzkräften am Boden zu entscheiden, wo sie welche Kräfte positionieren müssen. Das britische Start-up Faradair Aerospace arbeitet nach eigenen Angaben sogar an einer großen Löschdrohne. Beha M1-AT hat nach Faradair-Angaben eine Spannweite von elf Metern sowie eine Nutzlast von zehn Tonnen und soll Waldbrände völlig autonom bekämpfen können. Testflüge werden dem Unternehmen nach bereits durchgeführt. 🌐



**Drohnen** — Bilder aus der Luft und Daten über die Temperatur erleichtern es den Einsatzkräften am Boden zu entscheiden, wo sie welche Kräfte positionieren müssen.

Löschflugzeuge wie der Global Supertanker haben ein Löschwasser-Fassungsvolumen von **72.680 Liter**



Kleinere Hubschrauber können bis zu **500 Liter** Löschwasser aufnehmen



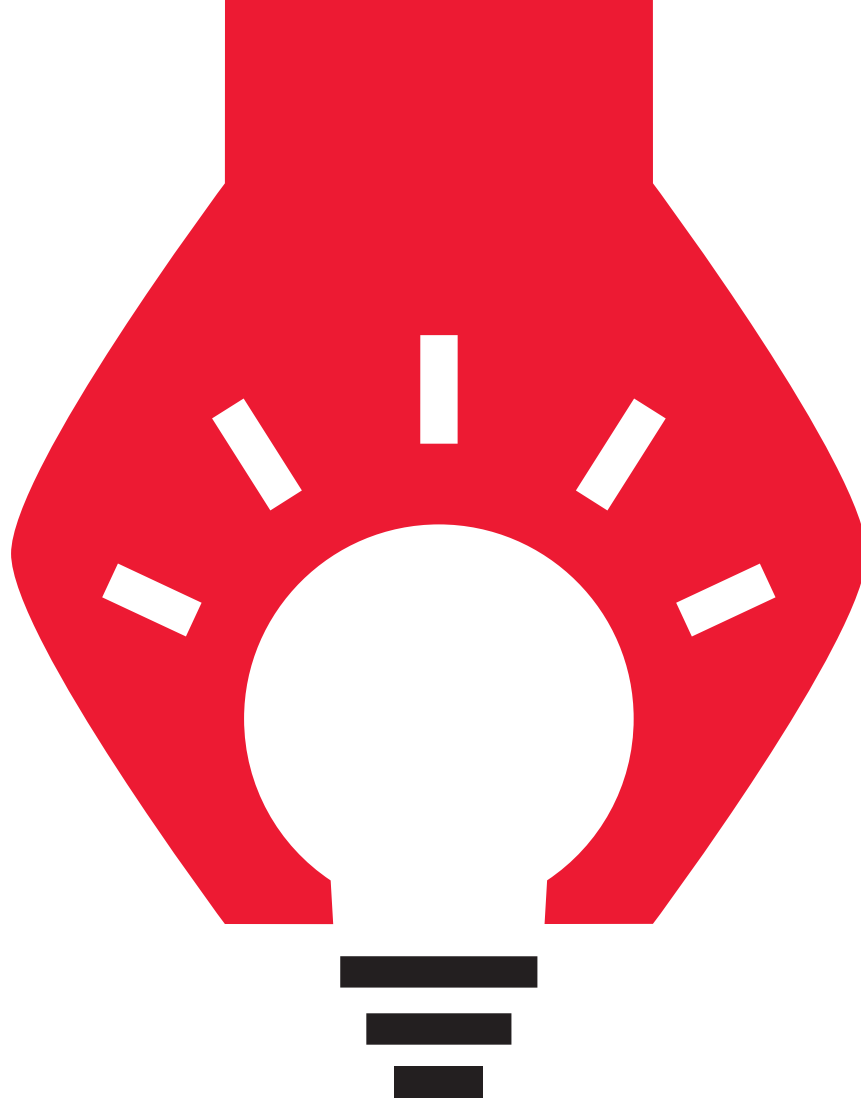
Fragen, Wünsche, Anregungen? Hier erreichen Sie die Redaktion: [aeroreport@mtu.de](mailto:aeroreport@mtu.de)



Mehr Infos finden Sie unter: [www.aeroreport.de](http://www.aeroreport.de)



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



# Do-it-Yourself in der Prototypen- Werkstatt

*Die MTU Aero Engines stärkt ihre Erfinder-Community.  
In der Hightech-Werkstatt MakerSpace in München tüfteln sie  
an eigenen Produkten und setzen Ideen in die Wirklichkeit um.*

**Autorin:** Nicole Geffert



**Erfinder-Community** \_\_\_\_\_  
 Mitarbeiter der MTU Aero Engines  
 tüfteln im MakerSpace mit Software,  
 Werkzeug und Maschinen an den  
 Prototypen ihrer Produktidee.

Dr. Giovanni A. Brignole ist Experte für Verdichter Aerodynamik in der Entwicklung bei der MTU Aero Engines. Was kaum einer seiner Kollegen weiß: Brignole spielt leidenschaftlich gern Gitarre und Synthesizer. Ein kreativer Kopf ist er nicht nur bei der MTU, wo er bereits Erfindungen eingereicht hat, die patentiert worden sind. Auch privat tüftelt er gern. „Ich war begeistert von dem Angebot der MTU, im MakerSpace kreativ werden zu können.“

Der MakerSpace im Münchner Norden gehört zu den größten Prototypen-Werkstätten in Deutschland. Ob Bastler, Forscher, Studierende oder Gründer, sie alle können dort beispielsweise an Hightech-Maschinen zum Wasserstrahlschneiden, Schutzgasschweißen, Sandstrahlen und Pulverbeschichten arbeiten. Ambitionierte Do-It-Yourself-Aktive tüfteln neben Start-ups mit Software und professionellem Werkzeug an den Prototypen ihrer Produktidee.

Die MTU ist seit 2020 Mitglied beim MakerSpace und ermöglicht zwanzig ihrer Mitarbeiter, private Ideen in die Wirklichkeit umzusetzen. Brignole musste nicht lange überlegen, welche Idee er im MakerSpace realisieren wird. „Ich konstruiere und fertige ein Ef-

fektgerät, das ich zwischen Gitarre und Verstärker schalte“, sagt er und erinnert sich an seine ersten elektronischen Basteleien: „In den 1980er Jahren hatte man im Keller Platinen in Ätzbädern geätzt. Da gibt es heute zum Glück elegantere Lösungen.“ Zum Beispiel die Platinenfräse im MakerSpace. Die elektronischen Schaltkreise für sein Effektgerät hat Brignole bereits zuhause am Rechner simuliert.

Christian Grünberger, Leiter Intellectual Property Management bei der MTU, steht im Austausch mit den rund 500 Erfindern im MTU-Konzern: „Wir möchten unsere Erfinder-Community in der Umsetzung ihrer innovativen Ideen noch mehr stärken. Im MakerSpace können sie ihre individuelle Kreativität weiter steigern, indem sie eigene, ganz persönliche Projekte erfolgreich umsetzen.“ So können sich neue kreative Denkmuster entwickeln, die wiederum das kreative Denken an ihrem Arbeitsplatz bei der MTU fördern. In der schöpferischen und produktiven Atmosphäre des MakerSpace erhalten die Erfinder immer wieder neue Impulse.

„Die eigene Vorstellungskraft gerät schnell an Grenzen, wenn man sich auf ein neues Themenfeld begibt“, sagt Grünberger, der weiß,





**Begeisterte  
Heimwerkerin**

*Petra Kufner, Expertin in der Vorauslegung, entdeckt im MakerSpace völlig neue Möglichkeiten.*

*„Wir möchten unsere Erfinder-Community in der Umsetzung ihrer innovativen Ideen noch mehr stärken. Im MakerSpace können sie ihre individuelle Kreativität weiter steigern, indem sie eigene, ganz persönliche Projekte erfolgreich umsetzen.“*

**Christian Grünberger**, Leiter Intellectual Property Management bei der MTU Aero Engines

 **MAKERSPACE**

**Ein Paradies für Erfinder:innen und Kreative**

*MakerSpace bietet Mitgliedern Zugang zu Maschinen, Werkzeugen und Software. Eine 1.500 m<sup>2</sup> große Hightech-Werkstatt bietet alles, was das Tüftlerherz begehrt. MakerSpace bietet einen Ort, um Ideen und Innovationen in Form von Prototypen und Kleinserien zu realisieren. Es stehen unterschiedliche Bereiche wie Maschinen-, Metall- und Holzwerkstatt sowie Textil- und Elektroecke zur Verfügung. Weiter geben 3D-Drucker, Lasercutter und Wasserstrahlschneidemaschine die Möglichkeit, neue Formen herzustellen und eine Vielzahl an Materialien zu bearbeiten.*

[www.maker-space.de](http://www.maker-space.de)

wovon er spricht. Er war selbst im MakerSpace aktiv. Der Prototyp der Erfindung seiner Kinder steht jetzt vor seinem Haus: eine Gartenbank, auf der es sich nicht nur komfortabel sitzen lässt, sondern die zudem verschließbaren Stauraum für gelieferte Pakete bietet.

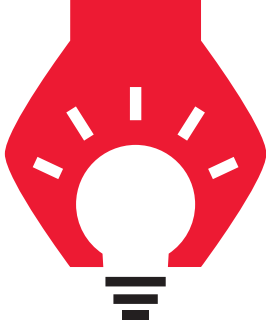
„Die Erfinder sind hier euphorisch am Werk. Die brennen für ihre Ideen“, sagt Florian Küster, Sales and Marketing Manager bei MakerSpace. „In der zunehmend digitalisierten Arbeitswelt erschaffen die Wenigsten etwas mit ihren Händen. Hier halten sie ihre Erfindung dann in der Hand. So wird Produktentwicklung begreif- und erlebbar.“

Doch nicht gleich der erste Entwurf mündet in einen Prototypen. Papier ist geduldig, heißt es. Aber was nützt die beste Zeichnung einer Idee, wenn sie sich nicht fertigen lässt. Brignole: „Das Tüfteln im MakerSpace schult die Weitsicht: Funktioniert mein Entwurf auch in der Praxis? Lässt sich das Material wie gedacht bearbeiten?“ Auch im Job hat

er die Fertigung stets im Blick. „Will man gute Arbeit leisten, schaut man über die eigene Disziplin hinaus.“

Bevor der Fertigungsprozess im MakerSpace starten kann, stehen Einführungskurse an den hochwertigen Maschinen, mit denen die Erfinder experimentieren möchten, auf dem Programm. Küster: „Nur wer einen solchen Kurs absolviert hat, erhält die Freigabe, an der Maschine zu arbeiten.“

Petra Kufner, Expertin in der Vorauslegung, wo die Konzepte für zukünftige Triebwerke und Komponenten der MTU entwickelt werden, hat bereits vier Kurse im MakerSpace absolviert, unter anderem an der CNC-Holzfräse, am Laserschneider und 3D-Drucker & -Scanner. Ihre Idee, die sie umsetzen möchte, ist ein Ständer, oval im Grundriss und zylindrisch in der Form, für den Wassernapf ihrer Katzen. Zuhause am Computer hat sie ein 3D-Modell des Ständers entwickelt. Kufner ist begeisterte Heimwerkerin, bastelt auch mit




### Kreativer Kopf \_\_\_\_\_

*Dr. Giovanni A. Brignole,  
Experte für Verdichter  
Aerodynamik, schult durch  
das Tüfteln im MakerSpace  
seine Weitsicht.*

Stoffen und Papier. Aber im MakerSpace entdeckt sie völlig neue Möglichkeiten: „Hier stehen mir Hightech-Maschinen und professionelles Werkzeug zur Verfügung.“

Wie Brignole steht auch sie in ihrem Job intensiv im Kontakt mit der Fertigung. Und auch das Thema, wie man schonend mit Material und weiteren Ressourcen umgeht, ist bei der Ingenieurin stets präsent. „Materialien wie Acrylglas beispielsweise sind teuer. Um nicht unnötig Material zu verbrauchen, ist es wichtig, die Umsetzung und Fertigung seiner Idee detailliert zu planen, bevor man loslegt.“ Und wenn die Forscher nicht weiter wissen, ist in der Werkstatt eine professionelle Crew unterwegs – in der Regel Handwerksmeister – die den Erfindern mit Rat und Tat zur Seite stehen.

Noch ist der Ständer für den Wassernapf im Entwicklungsstadium. Doch schon jetzt sorgt die kreative Arbeit im MakerSpace für Auftrieb und Glücksgefühle. Kufner: „Anders als im Job benötige ich für meine private Erfindung weder Zulassungen noch Genehmigungen – und komme so schneller zum Erfolg.“ 

### Größte Prototypen-Werkstatt in Deutschland \_\_\_\_\_

*Im MakerSpace können Bastler, Forscher, Studierende oder Gründer beispielsweise an Hightech-Maschinen zum Wasserstrahlschneiden, Schutzgasschweißen, Sandstrahlen und Pulverbeschichten arbeiten.*




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



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



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

A stylized illustration of a pilot in a cockpit. The pilot is shown from the chest up, wearing a white shirt with a yellow and black striped collar, a blue tie, and a green jacket. He has brown hair and is wearing glasses, smiling slightly. His right hand is on the yoke. The cockpit is filled with various instruments, including several analog gauges and dials. A speech bubble originates from the upper right, containing a flight instruction. The background is a solid light blue color.

„Bravo Alpha Two  
Eight Four heavy taxi to  
runway 28R via Alpha, Quebec,  
Bravo, Foxtrot, hold short  
of 01Lima.“



A stylized illustration of a pilot in a cockpit. The pilot is shown from the side, wearing a headset and a green flight suit. The cockpit is filled with various instruments, dials, and control panels. The background is a bright blue sky. The overall style is graphic and colorful.

# Durch Knack und Rausch

*Bravo Alpha Two Eight Four.  
Wo Flugzeuge fliegen, dürfen keine  
Missverständnisse passieren.  
Deshalb hat sich in der Luftfahrt eine ganz  
eigene Kommunikationsweise entwickelt.*

**Autor:** Thorsten Rienth



**ICAO-ALPHABET**

A	Alpha
B	Bravo
C	Charlie
D	Delta
E	Echo
F	Foxtrot
G	Golf
H	Hotel
I	India
J	Juliet
K	Kilo
L	Lima
M	Mike
N	November
O	Oscar
P	Papa
Q	Quebec
R	Romeo
S	Sierra
T	Tango
U	Uniform
V	Victor
W	Whiskey
X	X-ray
Y	Yankee
Z	Zulu

Wer beim Anflug auf den Genfer Flughafen aus dem Fenster schaut, dem bleiben die Zahl-Ziffern-Kombinationen auf der Nachbarbahn nicht verborgen. Je nach Piste und Anflugsrichtung ist dort eine große weiße „04“, „22“, „04L“ oder „22R“ auf den grauen Asphalt geschrieben.

Die Abkürzungen stehen für die Anflugrichtung im Verhältnis zum magnetischen Nordpol. Eine Bahn, die in exakt südliche Richtung zeigt, bekommt eine „18“. Sie entspricht den 180 Grad auf der Kompassrose. Sie decken den Bereich zwischen 175 und 184 Grad ab. In der nördlichen Gegenrichtung sind es 360 Grad, die Bahn wird daher mit einer „36“ versehen. Die Genfer Piste 22 zeigt also ungefähr gen Südwesten. Das „L“ und „R“ stehen bei parallelen Bahnen für Links und Rechts. Liegen gar drei Bahnen in gleicher Ausrichtung, wie etwa an den großen Flughäfen von Frankfurt oder Chicago, erhält die mittlere Bahn den Suffix „C“ für Center.

**Keine Silbe zu viel**

Die Luftfahrt ist gespickt mit derartigen Abkürzungen. Präzise und möglichst unmissverständlich haben sie zu sein. Ganz besonders gilt das für die Kommunikation zwischen Cockpitbesatzung und der Air Traffic Control, kurz: ATC. Jede überflüssige Silbe, Zahl oder Buchstabenreihe könnte zu potenziellen Missverständnissen

führen. Die Anweisung „Reduce to minimum“ gilt nicht nur bei Höhe und Geschwindigkeit im Landeanflug. Sondern für den kompletten Aufbau der Fliegersprache.

Die fußt auf dem Alphabet der Internationalen Zivilluftorganisation „International Civil Aviation Organisation“, dem sogenannten ICAO-Alphabet. „M“ und „N“ ließen sich noch leicht verwechseln, wenn es im Kopfhörer knackt und rauscht. „Mike“ und „November“ wohl kaum. Und aus „Flug BA 284“ wird in der Pilotensprache: Bravo Alpha Two Eight Four.

Wenn dieser Flug von San Francisco nach London Heathrow seinen „Slot“ für den Start einhalten möchte, im Fachjargon CTOT genannt, „Calculated Time for Takeoff“, erbittet er beim Tower zeitig die Freigabe zum Rollen. Zum Beispiel in Richtung Startbahn 28R. Die Antwort aus dem Tower könnte zum Beispiel diese sein: „Bravo Alpha Two Eight Four heavy taxi to runway 28R via Alpha, Quebec, Bravo, Foxtrot, hold short of 01Lima.“

„Heavy“ steht für den Dreamliner Boeing 787-9, mit dem der Flug durchgeführt wird. Es indiziert ein Startgewicht von mehr als 300.000 Pfund. Alpha, Quebec, Bravo und Foxtrott bezeichnen den Weg über das Vorfeld. Dann folgt die Anweisung, vor der Bahn 01L zu warten. Sie kreuzt die Startbahn 28R, wohin „BA 284“ nun gleich rollen wird.

Was nach Geheimcodes klingt, ist einfach nur reduzierte Kommandosprache, „rotate“, „positive climb“, „gear up“. Das Wetter ist womöglich CAVOC, „clouds and visibility OK“, Wolken und Sicht in Ordnung.

Zusätzlich zum normalen Funkverkehr sind Verkehrsflugzeuge mit Transpondern ausgestattet. Die Bezeichnung setzt sich aus den Wörtern Transmitter und Responder zusammen. Das Funk-Kommunikationsgerät dient allen voran zur Identifizierung von Flugzeugen. Aber auch als Notfallkommunikation, wenn der Funk ausgefallen ist oder ein Funkspruch gerade nicht dienlich ist.

Der Code für eine Flugzeugentführung lautet „7500“. Als Eselsbrücke lernen Flugschüler: „75 – man with knife“. „7600“ ist das Signal für einen Funkausfall, „7700“ bedeutet: Emergency.

Zugeordnet zur jeweiligen Flugnummer taucht der Code dann bei sämtlichen Lotsen auf, über deren Bildschirm sich der Flug gerade bewegt.

### Bei Airbus lassen sich sogar die Triebwerksvarianten aus der Flugzeugbezeichnung ablesen

Nicht nur auf diesem Bildschirm taucht das jeweilige Kennzeichen des Luftfahrzeugs auf. Es ist auch stets gut sichtbar auf beide Flugzeugrumpfsseiten lackiert. Einem Nummernschild gleich soll jedes zivile Flugzeug eindeutig identifizierbar sein. Auf welche Weise regelt in Deutschland die Luftverkehrs-Zulassungs-Verordnung, kurz: LuftVZO.

Die Kennzeichen beginnen mit einem „D-“, zum Beispiel D-ABYA. Der nächste Buchstabe definiert die Kategorie des Höchstabfluggewichts. Bei über 20 Tonnen ist dies ein „A“. Danach folgen die individuellen Bezeichnungen der Airline, zum Beispiel bei der Lufthansa ein „B“ für Boeing und ein „Y“ für den Typ 747-8. Der letzte Buchstabe, das „A“, zeigt an, dass es sich bei dem Jet um die erste an Lufthansa ausgelieferte „747-8“ handelt. Bei den folgenden Auslieferungen wird hinten in der Regel einfach das Alphabet weitergeführt, also D-ABYC, D-ABYD, D-ABYE.


Die Hersteller können die Namen und Systematik hinter ihren Flugzeugtypen selbst regeln. Eine A320-200 nennt Airbus zum Beispiel A320-230, wenn der Jet mit Triebwerken des Konsortiums IAE ausgestattet ist. Die dritte Ziffer steht für die Triebwerksbaureihe. Die Bezeichnung „A320-231“ steht für V2500-A1-Triebwerke.

Bei Boeing lassen sich solche Informationen nicht herauslesen. Der Hersteller dockt an seine Flugzeugtypenbezeichnungen reine Kundennummern an. So wurde eine Boeing 777-328ER an Air France ausgeliefert, weil die „28“ das Boeing-Kürzel der Franzosen darstellt. Die Lufthansa besitzt die



**Kabinensprache** — „SPML“ ist die Abkürzung für Special Meal, „Galley“ ist die Bordküche, „Bin“ das Gepäckfach über den Sitzen, „Crotch-watch“ (übersetzt: Blick in den Schritt), ob alle Erwachsenen und Kinder angeschnallt sind, als „Deadhead“ wird ein Crewmitglied bezeichnet, das sich als normaler Passagier an Bord befindet. „Pax 11Alpha Extensions please“ heißt: der Passagier auf Platz 11A benötigt einen Verlängerungsgurt. Landing Lips bezeichnet das Auffrischen des Make-Ups bei den Stewardessen vor der Landung.

Boeing-Hausnummer „30“. Die „D-ABYA“ wird also in Seattle als Boeing 747-830 bezeichnet.

Die Genfer Bahnen hießen im Übrigen nicht immer 04/22 und 04L/22R. Erst im Herbst 2018 wurden die Pisten 05/23 und 05L/23R entsprechend umbenannt. Hintergrund ist, dass sich der geomagnetische Nordpol, auf den sich Kompassnadeln ausrichten, im Gegensatz zum geografischen Nordpol in einer Wanderung befindet. Der schwankende Abstand zwischen beiden, macht – im Sinne der richtigen Orientierung – von Zeit zu Zeit eine Neubezeichnung der Pisten nötig. Aber das ist eine andere Geschichte. 

**D-ABYA**

#### Luftfahrzeugkennzeichen

— Einem Nummernschild gleich wird so jedes zivile Flugzeug eindeutig identifiziert.

**7500**

#### Code für eine Flugzeugentführung

— Als Eselsbrücke lernen die Flugschüler: „75 - man with knife“.



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



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



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





### **Recycling**

*Einen bestimmten Wertstoff oder ein Produkt wiederverwenden bedeutet, diesen Wertstoff nach seinem Gebrauch für seinen ursprünglichen Zweck wieder einzusetzen. Verliert ein wiederverwertetes Produkt an Qualität, spricht man von „Downcycling“.*



### **Upcycling**

*Produkte, die ausgedient haben, also eigentlich als Abfall gelten, werden im Rahmen von Upcycling ganz einfach in neue Produkte umgewandelt. Übrigens wird Upcycling auch als kreative Zweckentfremdung bezeichnet. Hierfür werden ausrangierte Produkte als Materialien betrachtet und zu neuen Produkten umgearbeitet und aufgewertet.*

# Schatzkästchen mit Flügeln

*Viel zu schade zum Wegwerfen:  
Ausgediente Flugzeuge enthalten Ersatzteile, Wertstoffe  
und sogar Baumaterialien für stylische Upcycling-Möbel.*

**Autorin:** *Monika Weiner*

Jahrzehntelang wurden sie kaum beachtet: Stillgelegte Verkehrsmaschinen, die am Rande abgelegener Flugplätze parkten. Erst nach und nach erkennt man, welche Schätze auf den „Flugzeugfriedhöfen“ schlummern: Triebwerke, Turbinen-Komponenten, Avionik und Fahrwerk können als Ersatzteile dienen, die Rumpfbauerteile enthalten wertvolle Metalle wie Aluminium, Titan oder Kupfer, die wiederverwendet werden können. Aus Sitzen, Wandelementen oder Flügelteilen lassen sich außerdem hochwertige Möbel fertigen.

Das Flugzeugrecycling ist in Europa ein noch junger Wirtschaftszweig, doch er entwickelt sich schnell. Der größte Player ist das französische Unternehmen TARMAC Aerosave, an dem auch Airbus beteiligt ist. In Deutschland teilen sich eine Reihe kleiner und mittelständischer Unternehmen, die spezialisiert sind auf Flugzeugrückbau und Recycling, den Markt. Das Ziel: Eine möglichst vollständige Wiederverwertung aller Materialien.

Ein komplettes Flugzeug zu zerlegen, alle Bestandteile sortenrein zu trennen und aufzuarbeiten ist eine Kunst für sich: Da müssen beispielsweise Trieb- und Fahrwerke, die noch als Ersatzteile dienen können, fachgerecht ausgebaut werden. Als nächstes gilt es, alle Schadstoffe zu entfernen – beispielsweise Löschmittel, Kerosin und Öle aus den Hydraulikleitungen.

„Wenn alle Vorarbeiten erledigt sind, dauert der Rückbau, je nach Größe des Flugzeugs, zwei bis sechs Tage“, berichtet Marc E. Keske, CEO der MoreAero GmbH. Das Unternehmen ist darauf spezialisiert, Flugzeuge an der Stelle zu entsorgen, wo sie als letztes gelandet sind. „Der Rückbau vor Ort hat für die Eigner den Vorteil, dass sie die Maschinen nicht mehr überführen müssen und Geld sparen“, erläutert Keske. Seine Teams können überall arbeiten. Alles, was sie benötigen, wird in einen Standard-Container per Bahn oder Schiff zum Einsatzort transportiert: Pumpen, um die Kerosintanks und Bremsleitungen



**Flugzeugrecycling** — Ohne schwere Maschinen und Geräte können Flugzeuge nicht zerlegt werden. Mögliche Ersatzteile wie beispielsweise Trieb- und Fahrwerke müssen fachgerecht ausgebaut werden. Nach der Vorarbeit dauert der Rückbau zwischen zwei und sechs Tagen, je nach Größe des Flugzeuges.



trockenzulegen; Werkzeug, um Pressluftkartuschen oder Sauerstofftanks, die noch unter Druck stehen, zu entfernen; Schrottscheren, die an Baggern befestigt werden können. Am Ende des „Rückbaus“ bleibt von einem Flugzeug nur ein Haufen zeretzter Bauteile übrig.

### Aus Reststoffen werden neue Rohstoffe

Diesen Schrott zu verwerten, ist Aufgabe der Recyclingunternehmen. Sie schreddern die Teile und trennen die Materialien. „Auf diese Weise können verschiedene Metalle, aber auch komplexe Legierungen wieder zurückgewonnen werden, die dann der Industrie für die Herstellung neuer Produkte zur Verfügung stehen“, erklärt Gregor Zenkner, Manager Business Development bei CRONIMET, einem Unternehmen, das sich auf Metallrecycling spezialisiert hat. Aus Flugzeugschrott lassen sich beispielsweise temperaturbeständige, titan- und nickelhaltige Superlegierungen gewinnen, die in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt werden können. Alles, was nicht mehr stofflich verwertbar ist, wird verbrannt.

Jede Veränderung im Flugzeugbau stellt die Recycler vor neue Herausforderungen: Bisher ist der Rumpf der zu entsorgenden Flugzeuge meist aus Aluminium gefertigt, das sich gut wiederverwerten lässt. Mittlerweile verwenden die Flugzeugbauer allerdings zunehmend leichte Faserverbundwerkstoffe – vor allem carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFKs). Früher oder später müssen auch diese CFKs im großen Maßstab rückgebaut und verwertet werden.

### Das zweite Leben der faserverstärkten Kunststoffe

Wie das technisch und ökonomisch gelingen kann, erforscht Torsten Müller am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT. „Grundsätzlich lassen sich auch carbonfaserverstärkte Verbundmaterialien recyceln. Dies ist bisher allerdings aufwendiger und teurer als eine Beseitigung durch Verbrennen oder, wenn dies in dem jeweiligen Land erlaubt ist, auch die Deponierung“, berichtet der Forscher. Ein typischer im Flugzeugbau eingesetzter Kunststoff ist Epoxidharz, in den die Fasern eingebettet sind. Will man diese zurückgewinnen, muss das Epoxidharz unter Sauerstoffabschluss von den Fasern getrennt werden. Für diese Pyrolyse werden spezielle Anlagen benötigt.

Technisch einfacher ist das Recycling der teureren carbonfaserverstärkten thermoplastischen Kunststoffe. Diese lassen sich schreddern und anschließend durch Erwärmung in eine neue Form bringen, erläutert Müller: „Das Recyclat hat zwar – schon wegen der kürzeren Faserlängen – nicht dieselben Eigenschaften wie das Primärmaterial, man kann aber beispielsweise Kabelkanäle daraus herstellen, die dann sogar in einem neuen Flugzeug eingesetzt werden könnten.“ Generell stoße die Kreislaufwirtschaft beim Kunststoffrecycling jedoch schnell an ihre Grenzen, weil die Materialien meist nicht sortenrein vorliegen.






**Kunststoffrecycling** — Im thermoplastischen LFT Spritzgießen am Fraunhofer ICT gefertigte Rückenlehne aus kommerziell verfügbaren Hybridgarnen mit rezyklierten Kohlenstofffasern. reCa-HiT wird vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg gefördert.

### Upcycling: Schrott im neuen Glanz

Neben dem klassischen Recycling etabliert sich zunehmend ein neuer Markt, der alte Teile in neuem Glanz erstrahlen lässt: das Upcycling. Der Kreativität sind hier keine Grenzen gesetzt: Ganze Flugzeuge mutieren zu Wohnungen oder Hotels; kleine „aeropods“ aus Rumpfteilen lassen sich als Wintergarten oder Pavillon einsetzen; verschiedene Firmen bieten Trolley-Möbel, Taschen und Accessoires aus Sitzbezügen und Schwimmwesten an.

Marius Krämer, einer der Gründer und Inhaber von Wilco Design macht mit seinem Team aus alten Flugzeugteilen exklusive Möbel. Die Rohstoffe findet er bei Airlines und Entsorgern. „Mit Upcycling liegen wir voll im Trend. Die Menschen legen immer mehr Wert darauf, Dinge nicht wegzuerwerfen, sondern wiederzuverwerten“, sagt Krämer. Sein Möbelsortiment reicht von Wandbars aus Bordwänden über restaurierte Trolleys und Sitze bis hin zu Tischen aus Flügelteilen. Es gibt sogar einen Whirlpool, der im ersten Leben der Triebwerkseinlass eines Airbus war.

Auch die Airlines haben den neuen Trend erkannt und vermarkten ihn. Lufthansa beispielsweise hat eine eigene Upcycling-Collection für Miles and More-Kunden mit verschiedenen Produkten vom Messenger Backpack bis zum Flying Coffee Table – alle versehen mit Angaben, woher die ausgemusterten Teile stammen. Das Flugzeugrecycling wird so zum Lifestyle. 



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



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



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

**UPCYCLE** 

**UPCYCLING – ALTES WIRD ZU NEUEN SCHMUCKSTÜCKEN**



### Aus Alt mach Neu

— Designmobiliar aus Flugzeugteilen: Upcycling liegt voll im Trend. Aus alten Flugzeugteilen werden exklusive Möbel.

# PW800: Der zuverlässige Antrieb für Businessjets

*Mit der Dassault Falcon 6X geht ein neuer Businessjet mit PW800-Triebwerken an den Start.*

Als die Dassault Falcon 6X Anfang Dezember 2020 ihre Baustätte das erste Mal verlässt, flankiert dabei je ein PW800-Triebwerk von Pratt & Whitney Canada den Rumpf des Businessjets. Die PW800-Triebwerke sind alte Bekannte auf dem Businessjets-Markt – mit ihnen fliegen bereits auch die Gulfstream G500 und G600. Die MTU hält an dem Programm einen Anteil von 15 Pro-

zent und steuert mit der Niederdruckturbine und verschiedenen Stufen des Hochdruckverdichters ihre Paradedisziplinen bei. Der Antrieb entstammt der innovativen PurePower®-Familie von Pratt & Whitney, für die bahnbrechende neue Technologien entwickelt wurden. Das PW800 verfügt über die gleiche bewährte Kerntechnologie wie die P&W GTF-Triebwerksfamilie.

Verbesserungen im zweistelligen Prozentbereich beim Kraftstoffverbrauch, Schadstoff- und Lärmemissionen sowie Betriebskosten

Schubklasse zwischen 10.000 und 20.000 Pfund

Fortschrittliche Werkstoff- und Konstruktionstechnologien und verbesserte Aerodynamik

Schadstoffarme TALON™-Brennkammer: Geringe Werte von unverbrannten Kohlenwasserstoffen und Rauch

Große Zugangsklappen in den Triebwerk-Bypass-Kanälen ermöglichen Mechanikern einen schnellen und effizienten Zugang zum Kern des Triebwerks

Modernste Kühlung der Hochdruckturbine mit aktiver Spaltkontrolle

Hochdruckverdichter: Konstruktion mit hoher Steifigkeit; Freitragende Stufen

Hocheffizienter und wartungsarmer einteiliger Fan: Verbesserte Geräusch- und Vibrationseigenschaften

Die MTU hält an dem Programm Anteile von 15 Prozent

Die MTU ist an diesem Triebwerk mit dem Hochdruckverdichter (verschiedene Stufen) und der Niederdruckturbine beteiligt



**Falcon 6X** — Die Höchstgeschwindigkeit der Dassault Falcon 6X liegt bei Mach 0,9, die Reichweite bei 10.186 Kilometern. Somit kann der Businessjet beispielsweise von London nach Hongkong nonstop fliegen. Ihre Indienststellung ist für 2022 vorgesehen.



# Die AEROREPORT-Redaktion möchte Ihre Meinung wissen

**Damit wir unser Magazin sowohl in der Printversion als auch in der Onlineversion stetig verbessern können, brauchen wir Ihre Hilfe!**

Wir haben uns einige Fragen überlegt, damit wir unseren Lesern in der Zukunft einen noch besseren AEROREPORT präsentieren können.



Unter allen Teilnehmern verlosen wir:  
**3x 500-teiliges Puzzle**  
 mit Triebwerksmotiv  
**5x nachhaltiges Appeel-Notizbuch**  
**10x flauschiges Turbinchen**

Bitte nehmen Sie sich 5 Minuten Zeit und helfen Sie uns, den AEROREPORT noch besser zu gestalten.

Online-Umfrage unter:

<https://survey.mtu.de/aeroreport/>



## AEROREPORT-Newsletter abonnieren

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

Abonnieren Sie sich den AEROREPORT-Newsletter. Kostenlos und jederzeit kündbar.



Kostenlose Newsletter-Anmeldung unter:

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



### IMPRESSUM

#### AEROREPORT 01|21

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

#### Herausgeber

MTU Aero Engines AG  
 Eckhard Zanger  
 Leiter Unternehmenskommunikation  
 und Public Affairs

#### Redaktionsleitung

Dongyun Yang

#### Redaktion

Patricia Hebbing  
 Isabel Henrich

#### Anschrift

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

#### Autoren

Denis Dilba, Nicole Geffert,  
 Thorsten Rienth, Monika Weiner

#### Layout

SPARKS CONSULTING GmbH, München

#### Bildnachweis

*Titel* MTU Aero Engines  
*2\_3* MTU Aero Engines  
*4\_11* MTU Aero Engines,  
 DLR/Hendrik Weber, Airbus  
 S.A.S., Bauhaus Luftfahrt,  
*12\_13* MTU Aero Engines, Shutterstock  
*14\_17* MTU Aero Engines, Shutterstock  
*18\_23* MTU Aero Engines, Shutterstock,  
 imageBROKER.com/Lex Rayton,  
 Fraunhofer IGB, Airbus S.A.S.,  
 DLR, Villinger GmbH  
*24\_33* Shutterstock, MTU Aero Engines  
*34\_37* Shutterstock  
*38\_43* Shutterstock, NASA, Bundesweh-  
 r/Johannes Heyn, Global  
 Supertanker, Viking Air Ltd.,  
 DLR, MTU Aero Engines,  
 Alfredo La Marca, Bundespolizei  
*44\_47* MTU Aero Engines, MakerSpace  
*48\_51* Shutterstock  
*52\_55* MTU Aero Engines, CRONIMET  
 Holding GmbH, Fraunhofer Institut,  
 Wilco Design GmbH  
*56\_57* MTU Aero Engines,  
 Dassault Falcon

#### 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.*



# H<sub>2</sub>



**AEROREPORT**

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