

# AEROSPACE

Magazin für Luft- und Raumfahrt in Nordrhein-Westfalen



**Laser-Haifischhaut  
aus Alsdorf reduziert  
CO<sub>2</sub> Emissionen in der  
Luftfahrtindustrie**

Seite 20



**H<sub>2</sub>-Sicherheit in Laboren und  
Werkstätten**

Seite 28



**Kristalle für die  
Satellitenavigation**

Seite 44

## Impressum

### Herausgeber

AeroSpace.NRW

c/o NMWP Management GmbH  
Merowingerplatz 1  
40225 Düsseldorf

[www.aerospace.nrw](http://www.aerospace.nrw)

+49 211 385459-20  
[info@aerospace.nrw](mailto:info@aerospace.nrw)

### Redaktion

Dr.-Ing. Harald Cremer  
Hendrik Köster (v.i.S.d.P.)  
André Sarin

Titelbild: NMWP Management GmbH / André Sarin

AeroSpace.NRW ist ein vom Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie (MWIKE) des Land Nordrhein-Westfalen beauftragtes Netzwerk für die Luft- und Raumfahrtindustrie in NRW.

Um ein Abonnement des Magazins abzuschließen, Ihre Adressdaten zu ändern oder um weitere Informationen zu erhalten, senden Sie einfach eine E-Mail an: [info@aerospace.nrw](mailto:info@aerospace.nrw)

Dieses Magazin kann unter [www.aerospace.nrw](http://www.aerospace.nrw) gelesen und als PDF heruntergeladen werden.

Namentlich gekennzeichnete Beiträge geben nicht unbedingt die Meinung des Herausgebers wieder.

Nachdruck oder Reproduktion (gesamt oder auszugsweise) ist ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des Herausgebers untersagt.

## Liebe Leserinnen und Leser,

die Luft- und Raumfahrtindustrie ist seit jeher ein führender Innovationstreiber und Vorreiter bei der Nutzbarmachung von neuen Entwicklungen in den Schlüsseltechnologien. Nordrhein-Westfalen nimmt in diesem Bereich eine besondere Rolle ein, denn NRW ist das Land der Luftfahrtzulieferer, deren Produkte sich in nahezu jedem Flugzeug wiederfinden. Dies demonstriert zum einen die hohe Relevanz der Luftfahrtindustrie in NRW und macht die Wirtschafts- und Wissenschaftslandschaft NRWs zu einem zentralen Enabler für die Zukunft der Mobilität.



Mit diesem Magazin möchten wir einen Einblick in die großen Stärken und Potenziale von NRW-Akteuren aus Wirtschaft und Wissenschaft nicht nur für die Luft- sondern auch für die Raumfahrt geben. Wie immer können wir nur einen kleinen Teil der großen Bandbreite in diesem Bereich streifen. Wir haben bei der Auswahl der Beiträge versucht, möglichst die verschiedenen Schlüsseltechnologien und Anwendungsszenarien in der kommerziellen, der allgemeinen und innovativen, neuen Luft- und Raumfahrt aufzugreifen.

Lassen Sie sich für eigene Ideen inspirieren und sprechen bei Interesse die Autorinnen und Autoren direkt an oder melden sich bei uns.

Ich wünsche Ihnen viel Freude bei der Lektüre und bleiben Sie neugierig

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'H. Cremer'. The signature is fluid and cursive, written in a professional style.

**Dr.-Ing. Harald Cremer**  
Netzwerkmanager

## AeroSpace.NRW



Weltweit stehen Flughäfen unter wachsendem Druck, nachhaltiger zu agieren. Im Bereich der Airfield Ground Lighting (AGL)-Systeme sind bereits viele Flughäfen auf LED-Technologie umgestiegen. Doch in den letzten Jahren ist eine neue intelligente Technologie hinzugekommen.

**SEITE 12**

Hochtemperatur Leichtbau ist eine Schlüsseltechnologie zur Erhöhung der Energieeffizienz von Hochtemperaturprozessen und zur Verringerung von Emissionen. Das DLR entwickelt keramische Faser-verbundwerkstoffe für verschiedenste Hochtemperatur-Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt und darüber hinaus.

**SEITE 22**



Ein Zeppelin fliegt unter Tage im größten Teilchenbeschleuniger der Welt? Was erst absurd klingt, ergibt ein ausgezeichnetes System für die ferngesteuerte Inspektion hochsensibler Anlagen.

**SEITE 46**

# Luft- und Raumfahrt aus NRW

---

- 6** AeroSpace.NRW - das NRW-Netzwerk der Luft- und Raumfahrtindustrie
- 10** Renaissance der Luftfahrt: Die E-Fliegerei als ein Baustein zur Transformation
- 12** Air Energy aus Aachen liefert Batterysysteme an die Schweizer Dufour Aerospace
- 14** Neue Technologie macht Flughäfen nachhaltig und intelligent
- 16** Intelligente Notlandeassistenzsysteme
- 18** Künstliche Intelligenz für die flexible Produktion von Flugzeugschalen
- 20** Laser-Haifischhaut aus Alsdorf reduziert CO<sub>2</sub> Emissionen in der Luftfahrtindustrie
- 22** Keramische Faserverbundwerkstoffe für den Hochtemperatur-Leichtbau
- 24** Hochleistung-Propeller „Made in Aachen“
- 26** Gemeinsam mehr erreichen!
- 28** H<sub>2</sub>-Sicherheit in Laboren und Werkstätten
- 30** Sustainable Aviation Fuel (SAF) als Beitrag zur Transformation der Reviere in NRW
- 32** Luftfahrtstrukturen aus dem Lichtbogen: Nachhaltig, effizient, digital.
- 34** Neuer hochfester martensitischer nichtrostender Stahl für Luftfahrtanwendungen
- 36** Innovative 3D-gedruckte Polymerbauteile optimieren Eurowings Modifikationsprogramm
- 38** Mechanisch bearbeitete Bauteile aus Kunststoff - Sinn oder Unsinn?
- 40** Materialinnovation in der Luft- und Raumfahrt
- 42** 3D-Druck von Multimaterialien für die Raumfahrt
- 44** Kristalle für die Satellitennavigation
- 46** Ein Luftschiff unter Tage im ALICE Detektor des CERN Forschungszentrum
- 48** Neue Raumfahrtstrategie der Bundesregierung verabschiedet
- 50** Das AeroSpace.NRW Akteursverzeichnis
- 51** Termine



## Das NRW-Netzwerk der Luft- und Raumfahrtindustrie

**Die faszinierende Geschichte des Landesnetzwerks AeroSpace.NRW ist eng mit vorangegangenen Aktivitäten wie der Erstellung des DLR-Katalog der Deutschen Raumfahrtakteure, der Beteiligung an der SCE Supply Chain Excellence Initiative und insbesondere dem Interreg Europe-Projekt STEPHANIE verknüpft. Drei Jahre später ist AeroSpace.NRW als NRW-Netzwerk der Luft- und Raumfahrtindustrie fester Bestandteil des Innovations-Ökosystems, welches die wichtige Zuliefererindustrie in Nordrhein-Westfalen aktiv und erfolgreich vernetzt und durch Technologietransfer und Innovationsförderung auf ein neues Niveau hebt.**

Die evolutionäre Entwicklung von AeroSpace.NRW verdeutlicht nicht nur den innovativen und zukunftsorientierten Charakter des Netzwerks, sondern auch dessen Bestrebungen, die regionale Wirtschaft durch nationale und internationale Kooperationen zwischen Forschung, Entwicklung und Industrie nachhaltig zu stärken. Das Netzwerk stützt sich bei seinen Aktivitäten auf vier Säulen: Vernetzung, Information, Projekte und Strategie. Um den langfristigen Erfolg des Netzwerks und seiner Mitglieder zu ermöglichen, gelten als zentrale Bestandteile der Zusammenarbeit Vertrauen, persönliche Kontakte, Fokussierung, Ergebnisorientierung, Neutralität und eine zukunftsfähige Ausrichtung. „Unser Ziel ist dabei immer die Steigerung der Innovationskraft und der Wettbewerbsfähigkeit der NRW-Wirtschaft im Bereich der Luft- und Raumfahrt, um so Arbeitsplätze zu schaffen und nachhaltige und umweltfreundliche Technologien

zu entwickeln“, fasst Dr.-Ing. Harald Cremer, Netzwerkmanager AeroSpace.NRW, zusammen.

AeroSpace.NRW versteht sich seit seiner Gründung im März 2021 als DAS NRW-Netzwerk der Luft- und Raumfahrtindustrie. Nach drei Jahren umfasst das Netzwerk heute rund 150 Akteure und repräsentiert somit einen Großteil aller Unternehmen und Forschungseinrichtungen mit Luft- und Raumfahrtbezug aus NRW. „Um den aktuellen Herausforderungen optimal zu begegnen ist es wichtig, branchenübergreifende Synergien frühzeitig zu erkennen und optimal zu nutzen“, so Dipl.-Ing. Dirk Kalinowski, stellvertretender Netzwerkmanager. „Gemeinsam mit Wirtschaft, Wissenschaft und Politik entwickeln wir die Basis für eine zukunftsfähige Strategien zur Weiterentwicklung der Luft- und Raumfahrttechnologie in Nordrhein-Westfalen. Wir



Auf dem ersten Netzwerkabend in Düsseldorf tauschten sich knapp 100 Akteure aus NRW intensiv zum Thema „Klimaneutralen Luftfahrt“ aus.

unterstützen Unternehmen dabei diese gewinnbringend umzusetzen.“

In regelmäßigen Treffen mit führenden Vertretern des NRW-Wirtschaftsministeriums, wie beim Spitzengespräch mit Wirtschaftsministerin Mona Neubaur, kommt das Netzwerk mit Wirtschaft, Wissenschaft und Politik zusammen, um die aus der Transformation der Luft- und Raumfahrt resultierenden Chancen für den Standort NRW zu diskutieren. Das aktuelle Ziel einer klimaneutralen Luftfahrt führt dabei zu zahlreichen Herausforderungen und Anpassungen in nahezu allen Bereichen der Entwicklung, Produktion und beim Betrieb von innovativen Luftfahrzeugen, wie auch der Infrastruktur am Boden.

Die strategische Arbeit von AeroSpace.NRW zeigt sich auch in der Vorbereitung und Umsetzung von Roadmaps

und Studien. Auch hier ist der direkte Draht zu den Akteuren ein Vorteil. So wurde aufbauend auf der Idee ECO2AIR das Strategiepapier „Das Wirtschaftsökosystem Aviation Rheinisches Revier“ (ARR) erarbeitet, welches sich konkret mit der Entwicklung einer intelligenten Spezialisierungsstrategie (Smart Specialisation Strategy S3) zur nachhaltigen Implementierung einer Luftfahrtindustrie im Rheinischen Revier beschäftigt. Im Fokus der Studie steht die Identifikation von Transformationsaktivitäten, wobei zudem konkrete Umsetzungsstrategien vorgestellt werden. Eine weitere Studie befindet sich aktuell in der Entwicklung und befasst sich mit der Transformation der Luftfahrt als wirtschaftliche Chance für Nordrhein-Westfalen.

Die vielfältige Unterstützung des Netzwerks von Wirtschaft und Wissenschaft in ihrer Breite und Tiefe

Auf dem ersten Netzwerkabend in Düsseldorf tauschten sich knapp 100 Akteure aus NRW intensiv zum Thema „Klimaneutralen Luftfahrt“ aus.



zeigt sich zudem im hochkarätig besetzten Advisory Board, das sich bereits kurz nach Gründung im Sommer 2021 konstituiert hat. Zu diesem gehören Unternehmen wie die Rheinland Air Service GmbH, HEGGEMANN AG, e.SAT GmbH, CAE GmbH, umlaut AG, CGI Deutschland B.V. & Co. KG, INFORM GmbH, Jetpel GmbH, OTTO FUCHS KG und Teijin Carbon Europe GmbH. Weiter sind im Advisory Board auch die FH Aachen – University of Applied Sciences, das Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) sowie die RWTH Aachen University vertreten

„Diese und viele weitere Player aus NRW findet man auch im Akteursverzeichnis, der Standortbroschüre unseres Netzwerks“, so André Sarin, PR & Marketing Manager. Das Akteursverzeichnis ist eines der vielen Kommunikations-Produkte des Netzwerks, denn externe Expertise und internes Engagement braucht natürlich auch eine zeitgemäße Kommunikation. „Herzstück dieser Kommunikation bildet unsere Webseite. Hier finden Sie unser Magazin, die Anmeldung zum Newsletter, Hintergründe

zum Netzwerk und seinen Akteuren ebenso wie aktuelle News und Infos zu Veranstaltungen.“

Zudem organisiert AeroSpace.NRW zur Stärkung des Austauschs zu konkreten Fragestellungen digitale sowie persönliche Veranstaltungen. Zum Beispiel in Arbeitsgruppen, bei Netzwerktreffen, der Teilnahme an Messen im In- und Ausland sowie durch das Initiieren von Workshops zu branchenspezifischen Themen.

Eine einfache Art der überregionalen Präsentation der NRW-Aktivitäten und Akteure boten die AeroSpace2GO-Webinare. Diese gaben niedrigschwellige Einblicke in Themen wie die Förderung von EU-Projekten mit der Nationalen Kontaktstelle Raumfahrt, zum Thema KI mit Inform sowie das Webinar zur Material- und Wertschöpfungskette mit thyssenkrupp Aerospace.

Auch im persönlichen Austausch konnte das Netzwerk punkten: Schon der Start der Netzwerkaktivitäten von

NRW-Wirtschafts- und Klimaministerin Mona Neubaur bei ihrem elektrischen Erstflug im Velis Electro von Pipistrel.







Übergabe des Bewilligungsbescheid für das Projekt „EcoCastAero“ an den Access durch NRW-Wirtschafts- und Klimaministerin Mona Neubaur am Forschungsflugplatz Aachen-Merzbrück

AeroSpace.NRW ist mit einem großen Knall erfolgt: Mit knapp 500 Teilnehmenden ist der 15. Tag der Deutschen Luft- und Raumfahrtregionen in Aachen, veranstaltet vom BDLI und dem NRW Wirtschaftsministerium, ein exzellentes Beispiel für eine von AeroSpace.NRW geplante Veranstaltung mit bundesweiter Strahlkraft. „Neben einem abwechslungsreichen Vormittagsprogramm und sechs hochkarätigen Keynotes gab es eine spannende Podiumsdiskussion“, so Dr. Cremer. „Ein weiteres Highlight war die Begleitmesse mit 32 Ausstellern, die unter anderem beim Presserundgang mit hochrangigen Vertretern verschiedener NRW- und Bundesministerien die Besucher von ihren innovativen Produkten und Dienstleistungen überzeugen konnten.“

Auf dem ersten Netzwerkabend in Düsseldorf tauschten sich knapp 100 Akteure aus NRW intensiv zum Thema „Klimaneutralen Luftfahrt“ aus. Neben spannenden Fachvorträgen war es auch hier persönliche Vernetzung, die einen nachhaltigen Mehrwert brachte. Ebenso beim zweiten Netzwerkabend in Mönchengladbach bei der Rheinland Air Services (RAS) zum Thema „NRW auf dem Weg in die neue, klimaneutrale Luftfahrt - MRO“ mit dem

Schwerpunkt Maintenance, Repairing and Overhaling (MRO). Hier wurden die Impulsvorträge ergänzt durch die Besichtigung der Wartungshangars der rheinischen Mittelständler und ein zwangloses Networking.

Last but not least bleibt noch der Besuch von Ministerin Neubaur am Forschungsflugplatz Aachen-Merzbrück zu erwähnen. Im Vorfeld des dritten Netzwerkabends informierte sich NRW-Wirtschafts- und Klimaministerin Mona Neubaur über die aktuellen Entwicklungen im Bereich des elektrischen Fliegens. Im Rahmen des von AeroSpace.NRW organisierten Netzwerktages fand auch eine Förderbescheidübergabe sowie ein Flug von Ministerin Neubaur mit einem Elektroflugzeug Velis Electro von Pipistrel statt. „Besonderheit ist, dass es aktuell insgesamt vier zugelassene Elektroflugzeuge dieses Typs in Deutschland gibt, drei davon sind in NRW zugelassen,“ betont Dr. Cremer. „Auch hier spielt NRW vorne mit.“ Und damit dies so bleibt, hat Frau Ministerin im Zuge der Netzwerkveranstaltung einen Bewilligungsbescheid für das Projekt „EcoCastAero“ an den Access übergeben. Im Rheinischen Revier ist dies das erste Projekt mit Luftfahrtbezug. ■

# Renaissance der Luftfahrt: Die E-Fliegerei als ein Baustein zur Transformation



**Sie war der Star am Rheinufer. Am Tag der offenen Tür im Regierungsviertel überzeugten sich neben Bürgerinnen und Bürgern Ministerpräsident Hendrik Wüst, die stellvertretende Ministerpräsidentin Mona Neubaur und Landesverkehrsminister Oliver Krischer davon, dass mit der Pipistrel Velis Electro ein neues Zeitalter in der Fliegerei eingeläutet wird.**

1903 unternahmen die Gebrüder Wright in North Carolina den ersten gesteuerten Motorflug der Geschichte. Sie konstruierten den Flyer I, der bei einem ersten Versuch eine Strecke von 36 Metern zurücklegte. Aus anfänglichen Flugschauen etwa in Berlin-Johannisthal, verbunden mit Wetten auf Flugweiten und -höhen, entwickelte sich zusehends das Potential als neue Transportmöglichkeit.

Ähnlich verhält es sich mit der Pipistrel Velis Elektro: Noch sind die Reichweiten gering, doch der Ansatz ist vielversprechend. Die zwei vom damaligen Verkehrsministerium des Landes geförderten E-Flugzeuge des slowenischen Herstellers bilden den Ausgangspunkt für den Aufbau eines E-Flugnetzes in Nordrhein-Westfalen als ein Baustein der Transformation mit dem Ziel der Entwicklung eines klimaneutralen Luftverkehrs "Made in NRW". Es geht darum, die internationale Forschungsreputation weiter zu steigern und eine nachhaltige Wertschöpfung für NRW zu sichern.

Grundlage bildet dafür das bislang erste von der Europäischen Agentur für Flugsicherheit (EASA) zertifizierte E-Flugzeug. Unter der Voraussetzung des Bezuges grünen Stroms ist das Flugzeug im Betrieb CO<sub>2</sub>-

neutral. Der Lärmpegel von maximal 60 Dezibel liegt unter der Lautstärke eines normalen Gesprächs. Die zwei Lithium-Ionen-Batterien mit je 11 kWh ermöglichen eine Flugdauer von ca. 50 Minuten. Die mit maximal zwei Personen besetzte Maschine schafft in der Spitze 200 km/h.

Als die Bundesregierung mit der Verabschiedung des Kohleausstiegsgesetzes die Beendigung der Kohleverstromung und den Umbau der Energieversorgung auf nachhaltige Energie beschlossen hatte, war für die Landesregierung noch deutlicher klar, dass die Potenziale des Rheinischen Reviers – räumliche Struktur und Grenznähe – auch zur Transformation in der Luftfahrt genutzt werden müssen. Den Beginn machte Aachen-Merzbrück (nunmehr Forschungsflugplatz Würselen-Aachen): Grundlage bildet ein zunächst auf drei Jahre bis Mitte 2024 angelegtes und inzwischen bis Ende 2026 verlängertes Forschungsprojekt, in welchem untersucht wird, wie die Allgemeine Luftfahrt nachhaltig werden kann. Im September 2021 hatte die Flugschule Westflug die zwei Pipistrel Velis Electro in ihre Flotte integriert, um darauf Pilotinnen und Piloten auszubilden. Für die Ausbildung eignen sich die Maschinen gut, geht es für Flugschülerinnen und Flugschüler doch insbesondere um das Starten,



die Platzrunde und das Landen. Die Fachhochschule Aachen begleitet das Projekt auf wissenschaftlicher Ebene. Die Forschenden sind überzeugt: Auch über die bislang formulierten Fragen hinaus bietet die Erprobung der E-Flugzeuge enormes Potential.

Die Flugschule TFC Käufer folgt dem Beispiel dem Beispiel am heutigen Forschungsflugplatz Würselen-Aachen. Sie hat ebenfalls eine Pipistrel Velis Electro angeschafft und im Auftrag der Fluggesellschaft Condor am Flugplatz Essen-Mülheim einen ersten Kurs gestartet, in dem angehende Pilotinnen und Piloten Teile der Flugausbildung auf dem E-Flugzeug absolvieren werden.

Nicht nur die drei Aviation-Standorte im Rheinischen Revier: Würselen-Aachen als Forschungsflugplatz mit Gewerbegebiet, Aldenhoven zur Erforschung der vertikalen Mobilität als auch Mönchengladbach mit seinen Stärken im Bereich der Wartung und Instandhaltung sowie innovativen Projekten sind bedeutsam für die Transformation. Auch die übrigen Landeplätze in NRW gestalten die – so verstandene – Renaissance der Luftfahrt mit, indem sie u.a. Investitionen in entsprechende Ladegeräte, Photovoltaik und Gebäudeautarkie tätigen.

Im Juni 2023 bewies das Ministerium, dass man mit dem E-Flugzeug perspektivisch mehr als nur Platzrunden fliegen kann: Rund um den dritten Geburtstag der Pipistrel Velis Electro ging es von Würselen-Aachen über Mönchengladbach nach Dinslaken Schwarze Heide. An den Folgetagen wurden die Flugplätze Stadlohn-Vreden und Marl-Loemühle angefliegen und zurück ging es über den Verkehrslandeplatz Essen/Mülheim mit Zwischenstopp am Airport Mönchengladbach zum Heimatflugplatz

Würselen-Aachen. Die Bilanz kann sich sehen lassen: 48 Flüge mit insgesamt über elf Stunden Flugzeit und einer zurückgelegten Strecke von 1.650 Kilometern mit zwei Personen an Bord bei einem Gesamtverbrauch von rund 280 kWh. Dies entspricht einem Verbrauch von 17kWh/100 km. Damit liegt der Verbrauch niedriger als jener eines SMART EQ, den der ADAC mit rund 18,4 kWh/100 km angibt. Der Grundstein für das landesweite NRW-E-Flugnetz ist gelegt.

Die E-Fliegerei kann der Wegbereiter für die Revolution der Mobilität in der dritten Dimension sein. NRW sieht hierin eine große Chance die Transformation mit zu gestalten und handelt im Einklang mit der Bundesebene: Advanced Air Mobility soll in der Bundesrepublik als einem der ersten Länder weltweit eingeführt werden und Leitmarkt für unbemannte und bemannte Drohnen werden. Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen ist bereit, als Vorreiter diesen zukunftsweisenden Weg als einen Baustein zur Transformation mit zu gestalten. ■

## Ihr Kontakt

**Ina Preuß**

Ministerialrätin  
Ministerium für Umwelt,  
Naturschutz und Verkehr  
des Landes Nordrhein-  
Westfalen

luftverkehrinnovativ@  
munv.nrw.de

[www.umwelt.nrw.de](http://www.umwelt.nrw.de)





# Air Energy aus Aachen liefert Batteriesysteme an die Schweizer Dufour Aerospace

**Die Air Energy wurde im Oktober 2023 als Lieferant für die Batteriesysteme des hybrid-elektrischen unbemannten Neigeflügelflugzeugs Aero2 von der Schweizer Firma Dufour Aerospace ausgewählt. Air Energy wird das Batteriegehäuse, die mechanische und elektrische Verbindung der Batteriepacks und das Batteriemanagementsystem für den Aero2 entwickeln und fertigen.**

Christoph Schäper, Geschäftsführer von Air Energy, sagt: "Es ist uns eine große Freude, von Dufour ausgewählt worden zu sein, um die intelligenten Batteriepacks für Aero2 zu liefern. Das gesamte Team ist begeistert, mit einem so außergewöhnlich professionellen, ehrgeizigen und dynamischen Partner zusammenzuarbeiten. Wir glauben fest an das Konzept der geplanten Aero2-Drohne und freuen uns darauf, in den kommenden Jahren zu ihrem Erfolg beizutragen. Air Energy wird seine in den letzten 30 Jahren gesammelte Erfahrung in der Batterie- und BMS-Entwicklung einbringen. In den letzten zehn Jahren hat sich Air Energy zunehmend auf die Entwicklung

und Produktion von Drohnenbatterien konzentriert. Bis Ende 2023 werden wir über 1500 Batterien produziert haben, die alle durch selbst entwickelte BMS-Systeme geschützt sind. In unserem Bestreben, ein führender Hersteller von Drohnen- und Flugzeugbatterien zu werden, ist es für uns wichtig, mit den dynamischsten und innovativsten Unternehmen zusammenzuarbeiten. Die Zusammenarbeit mit Dufour Aerospace ist eine perfekte Ergänzung."

Jasmine Kent, Mitbegründerin und CTO von Dufour Aerospace, sagt: "Aero2 ist ein hybrides VTOL-Flugzeug, so dass die Batterien eine kritische Komponente darstellen, und es war für uns sehr wichtig, den richtigen Partner zu finden. Air Energy kann eine hervorragende Erfolgsbilanz bei der Lieferung von Hochleistungsbatteriesystemen für Leichtflugzeuge vorweisen, und wir sind stolz darauf, dass wir sie für die Lieferung der Batteriemodule für Aero2 ausgewählt haben. Jedes Modul verfügt über ein eigenes Batteriemanagementsystem (BMS), mit dem die Batterien während des Fluges aufgeladen werden können, so dass wir die Landezone mit voller Ladung und maximaler Leistung anfliegen können. Außerdem ermöglicht es eine schnelle Bodenabfertigung, ohne zwischen den Flügeln auf das



Monika Rentemeister (Managing Director Air Energy Entwicklungs GmbH & Co KG), Christoph Schäper (Managing Director Air Energy Entwicklungs GmbH & Co KG), Simon Bendrey (Head of Design Dufour Aerospace) & Darren McDonald (Head of Quality Dufour Aerospace) (v.l.)

Aufladen warten zu müssen. Wir freuen uns über die Zusammenarbeit mit Air Energy bei der Lieferung dieser wichtigen Energiemodule.

### Über Air Energy

Air Energy wurde 1992 für die Entwicklung eines selbst-startenden elektrischen Segelflugzeugs gegründet. Nach dem Erstflug der AE-1 Silent im August 1997 vom Aachener Flugplatz Merzbrück und der Typprüfung als UL wurde das Flugzeug in Aachen gefertigt und an Endkunden verkauft.

Die Entwicklung und der Aufbau des elektrischen Antriebsstrangs gehörte von Anfang an zu den Kernaspekten der Arbeit bei Air Energy die meist in luftgestützte Systeme eingesetzt wurden.

Seit 2003 entwickelt und produziert Air Energy intelligente Batteriesysteme auf Basis von Li-Ionen-Zellen für spezielle und außergewöhnliche Anwendungen. Die Batterien wurden für Automobilprototypen (z. B. BMW Concept Cars), experimentelle Flugzeuge (z. B. Solar Impulse), Unterwasser- und Flugdrohnen, VTOL/STOL-Flugzeuge und mehr entwickelt. Air Energy entwickelt ständig neue Ideen und produziert maßgeschneiderte Lösungen mit hohen Ansprüchen an Leistung, Qualität und Zuverlässigkeit. Das Air Energy Team arbeitet Hand in Hand mit den Entwicklern des Kunden an der mechanischen Konstruktion, der Elektronik und der Software der Batterie, damit alles perfekt aufeinander abgestimmt ist. Das Leistungsportfolio reicht von der Konzeption und Realisierung von Prototypen über die Erstbemusterung und Inbetriebnahme bis hin zur Produktion von hochwertigen Serienprodukten.

### Über Dufour Aerospace

Dufour Aerospace entwickelt effiziente und ökologische Flugzeuge für den Patienten- und Personentransport, die Logistik und die öffentliche Sicherheit. Die derzeit in der Entwicklung befindlichen Modelle von Dufour Aerospace basieren auf dem Kippflügelprinzip. Sie starten und landen vertikal auf kleinstem Raum wie ein Helikopter, fliegen aber so schnell und wirtschaftlich wie ein Flugzeug. Während die Propeller elektrisch angetrieben sind, sorgen Hybridelemente (konventionelle Verbrennungsmotoren oder Brennstoffzellen) für eine ausreichend große Reichweite. Das erste Produkt, das Dufour Aerospace auf den Markt bringen wird, ist der Aero2, ein unbemanntes Luftfahrzeug, das speziell für den Transport von kritischen Produkten wie medizinischen Gütern mit einem Gewicht von bis zu 40 Kilogramm über mittlere bis große Entfernungen entwickelt wurde. Der bemannte Aero3, der eine geräumige Kabine mit acht Sitzen und großen Türen haben wird, ist das nächste Flugzeug, das Dufour Aerospace entwickelt. ■

## Ihr Kontakt

**Christoph Schäper**

Geschäftsführender  
Gesellschafter Air Energy

+49 241 9128 2020  
schaeper@airenergy.de

**[www.airenergy.de](http://www.airenergy.de)**



Neuer Standort der Air Energy seit 2022 im Gewerbepark Brand in Aachen



# Neue Technologie macht Flughäfen nachhaltig und intelligent



**Weltweit stehen Flughäfen unter wachsendem Druck, nachhaltiger zu agieren. Im Bereich der Airfield Ground Lighting (AGL)-Systeme sind bereits viele Flughäfen auf LED-Technologie umgestiegen. Doch in den letzten Jahren ist eine neue intelligente Technologie hinzugekommen.**

Einer der geradlinigsten Ansätze zur Reduzierung der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen besteht darin, den Energieverbrauch zu senken. Im Einklang mit diesem Ziel widmen Flughäfen weltweit Ressourcen der Implementierung von energieeffizienter Technologien. Diese Initiativen umfassen eine breite Palette von Maßnahmen, angefangen bei der Umstellung von mobilen Flughafenmaschinen auf elektrische Energie, der Installation von Solarpanelen bis hin zur Integration modernster Heizungs-, Kühlungs- und Beleuchtungssysteme.

Mit einem bemerkenswerten Schwerpunkt auf Nachhaltigkeit ist die CEDD-Technologie eine Lösung, die LED-Beleuchtung mit speziellen Energie- und Datentransfermechanismen verbindet. CEDD steht für „Contactless Energy & Data Distribution“. Durch die Beseitigung von Steckverbindern, Transformatoren und die Umsetzung individueller Leucht-Steuerung erzielt die neue Technologie eine um bis zu 70% niedrigere Energieverbrauch, reduzierte Bauarbeiten und einer Reduzierung des Flugzeugtreibstoffverbrauchs.

CEDD-Technologie, entwickelt von TKH Airport Solutions, ist eine Lösung, die speziell für Airfield Ground Lighting (AGL)-Systeme an Flughäfen maßgeschneidert ist. Sie optimiert die Art und Weise, wie Energie und Daten an verschiedene Beleuchtungseinrichtungen auf dem Flugfeld verteilt werden, unter Verwendung spezieller Kabel und hochwertiger kontaktloser Technologie.

## **CEDD-Technologie**

Die CEDD-Technologie repräsentiert eine intelligente, sichere und umweltfreundliche Lösung für die Flugplatzbefehung. Diese Innovation integriert Energie- und Datenübertragung in eine Twisted-Pair-Kabelinfrastruktur. Dabei werden Flugplatzleuchten durch Induktion mit Energie versorgt, was eine mühelose und sichere Installation oder Austausch ohne direkten elektrischen Kontakt ermöglicht.

Ein typisches CEDD AGL-System besteht aus einer Basisstation, welche für die Stromversorgung von CEDD-Leuchten verantwortlich ist und gleichzeitig eine

bidirektionale Kommunikation mit allen verbundenen Leuchten über das spezielle CEDD-Kabel herstellt. Am Ende jedes CEDD-Kabels gewährleistet ein Terminator die harmonische Impedanz Verbindung zwischen dem Kabel und den verbundenen Leuchten. Innerhalb eines CEDD AGL-Systems können mehrere Basisstationen mit einem oder mehreren Masters interagieren. Diese Masters wiederum etablieren die Kommunikation mit dem AGL-Control- und Monitoring-System des Flughafens über dedizierte Server.

Die zivilen Installationsanforderungen für CEDD-Technologie sind optimiert und umfassen nur ein wesentliches Element: ein einzelnes Rohr, das die Basisstation mit jedem CEDD-Licht entlang des Schaltkreises verbindet. In Fällen, in denen die Rohrinstallation zwischen den Lichtern unpraktisch ist, besteht eine alternative Methode darin, das Kabel durch Sägeschnitte im Gehweg zu verlegen. Die Installation der CEDD-Leuchten ist im Vergleich zu herkömmlichen Flugplatzleuchten ebenfalls wesentlich einfacher.



CEDD-Flugplatzleuchten werden durch Induktion mit Energie versorgt (Bild: TKH Airport Solutions).

### Weniger Treibstoff

Eine der Hauptvorteile der CEDD-Technologie ist die Reduzierung des Treibstoffverbrauchs bei Flugzeugen. Die Reduzierung des Treibstoffverbrauchs stellt ein entscheidendes Ziel für sowohl Flughäfen als auch Fluggesellschaften dar, da es für ihre Bemühungen zur Verbesserung ihrer Umweltauswirkungen von entscheidender Bedeutung ist. Eine verbesserte Verkehrssteuerung bietet das Potenzial, die NOx- und CO<sub>2</sub>-Emissionen erheblich im Bereich des Flugplatzes zu reduzieren.

Die automatische AGL-Führung, auch bekannt als 'Follow the Greens', hilft den Piloten, die Lageübersicht zu behalten und die richtigen Rollwege ohne ständige

Funkkommunikation mit der Flugsicherung zu verfolgen. Dies ist besonders nützlich bei schlechter Sicht, wie Nebel, Regen oder Nachtbetrieb, wenn visuelle Referenzpunkte am Boden begrenzt sichtbar sein können.

Nach Angaben des SESAR European Airport Consortium führt eine verbesserte Verkehrsflüssigkeit zu einer erheblichen Reduzierung von Emissionen. Die Rollzeiten und die Bewegungsverzögerung werden um 50% bis 80% reduziert, ebenso wie der Treibstoffverbrauch der Flugzeuge um bis zu 30%. Das bedeutet auch eine Verringerung der Emissionen (30% Reduzierung von CO<sub>2</sub>, HC und NOx sowie 50% Reduzierung von CO). Verschiedene Flughäfen sind bereits teilweise oder komplett mit der neuen CEDD-Technologie ausgestattet. Für weitere Informationen besuchen Sie unsere Website.



Im Bereich der Airfield Ground Lighting-Systeme sind bereits viele Flughäfen auf LED-Technologie umgestiegen (Bild: Copenhagen Airport).

### Über TKH Airport Solutions

TKH Airport Solutions entwickelt und produziert AGL-Produkten. Hauptsitz in Haaksbergen (NL) umfasst Engineering, Forschung und Entwicklung sowie Elektronikproduktion. Weitere Forschungs- und Entwicklung findet in Lippstadt (D) statt. Die Produktion der Leuchten erfolgt in Nykøbing Falster (DK). TKH Airport Solutions ist eines der operativen Unternehmen der an der niederländischen Börse gelisteten TKH Group NV. ■

## Ihr Kontakt

### Salvatore Baiamonte

Regional Sales Manager  
TKH Airport Solutions

s.baiamonte@tkh-airportsolutions.com

[www.tkh-airportsolutions.com](http://www.tkh-airportsolutions.com)



# Intelligente Notlandeassistenzsysteme

Ein Triebwerksausfall ist der Albtraum eines jeden Piloten. Um die besten Optionen für eine Notlandung nicht zu verschenken, muss schnellstmöglich eine Entscheidung über die weitere Flugroute im Gleitflug getroffen werden. Dabei gilt es, die bei der Entscheidung für eine Notlandung zur Verfügung stehende Resthöhe so aufzuteilen, dass die Landebahnschwelle trotz Windeinfluss noch in einer geeigneten Ausschwebehöhe erreicht wird. Diese Routenplanung kann mit Hilfe "intelligenter" Notlandeassistenzsysteme in sehr kurzer Zeit und mit hoher Genauigkeit durchgeführt werden. Der vorliegende Beitrag beschreibt die bisher von SmartFly-Solutions entwickelten Lösungsansätze.

## Notlandeassistenzsystemen

Wichtig für die folgenden Ausführungen ist, dass wir primär von einem Notfall mit vollständigen Triebwerksausfall (engine-out emergency) ausgehen. Häufig wird das Garmin Autoland auch mit derartigen Notfällen assoziiert. Dieses System ist jedoch nur bei einem Pilotenausfall (pilot incapacitation) einsetzbar. Es erfordert ein funktionierendes Triebwerk und darüber hinaus auch einen Flugplatz mit RNAV Anflugverfahren, der mit dem verfügbaren Treibstoff erreichbar ist.

Bisherige Engine-out emergency Lösungen basieren durchweg auf einem Gleitring um die Position, an der sich der Motorsausfall ereignet hat (Beispiele finden sich bei Garmin Pilot/SmartGlide, Foreflight und SkyDemon). Leider sind diese Systeme nur korrekt zur Prüfung der Erreichbarkeit bei geradlinigem Anflug mit dem momentanen Heading. Sie liefern auch keine Route von der Notfallposition zu einer Landebahn.

Ein weiteres ungelöstes Problem bei den bisherigen Assistenzsystemen betrifft die Höheneinteilung. Wenn der Gleitring zu einem vorausliegenden Flugplatz nicht zufällig an der Schwelle endet, besteht die Gefahr, dass man die Landebahn überschießt. Die überschüssige Höhe muss daher systematisch abgebaut werden, so dass das Flugzeug über der Schwelle nur noch die zum Ausschweben benötigte Resthöhe über der Landebahn hat. Eine solche Höheneinteilung kann nur mit einer klug

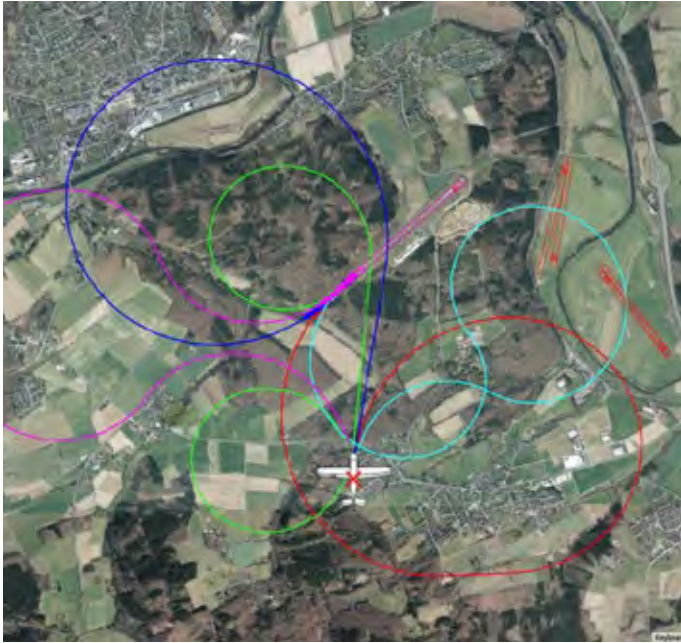
gewählten Gleitflug-Route erreicht werden, bei der gleichzeitig auch der Windversatz auf den verschiedenen Teilabschnitten des Gleitflugs berücksichtigt wird.

Hinzu kommt das Problem der Erreichbarkeit eines alternativen Notlandefeldes. Alle einfachen Assistenz-Lösungen gehen davon aus, dass man auf einem öffentlich registrierten Flugplatz landet. Sie können keine Alternative zu Notlandefeldern (Wiesen, Äcker, usw.) anbieten, falls kein richtiger Flugplatz mehr erreichbar ist. Es kann aber durchaus sein, dass bei einem Motorsausfall und bei den aktuellen Windverhältnissen keiner der nahegelegenen Flugplätze im Gleitflug erreichbar ist. Zur Lösung dieses Problems braucht man eine Datenbank mit Notlandefeldern zwischen den offiziellen Flugplätzen, die für das gerade genutzte Flugzeug geeignet sind.

## Smart Emergency Advisor (SEA)

SmartFly-Solutions hat für die oben aufgezeigten offenen Probleme der einfachen kommerziellen Systeme das Intelligente Notlandeassistenzsystem SEA (Smart Emergency Advisor) entwickelt. Es stellt eine Datenbank mit Notlandefeldern bereit, die mit KI-Methoden anhand von Geodaten (Elevation, Satellitenbildern und Open Street Map) berechnet wurde und allein in NRW über 100.000 Notlandefelder mit Landebahnen über 300m Länge identifiziert hat. Hierzu wurden künstliche neuronale Netzwerke trainiert, die mit einem





Mögliche Anflugrouten



Notlandefelder um den Flugplatz Arnberg (EDLA)

„intelligenten Auge“ in Satellitenbildern automatisch landbare Bereiche klassifizieren können. Dieser KI-Ansatz ermöglicht es in künftigen Entwicklungen, sogar während des Fluges in der unter dem Flugzeug liegenden Landschaft Notlandefelder zu identifizieren. So können auch in Echtzeit Hindernisse erkannt und bei der Auswahl des Notlandefeldes berücksichtigt werden.

SEA liefert optimierte Gleitflugrouten, die den Windeinfluss kompensieren und gleichzeitig die Höheneinteilung optimieren. Dabei wird die Route in mehrere hundert bis tausend kleine Geradensegmente zerlegt, die mit Hilfe einer inversen Kinematik und einem speziell optimierten Algorithmus zu einer entsprechend langen Kette zusammengefügt werden. Diesen zum Patent angemeldeten Ansatz nennen wir „Kinematoide Ketten“. Jedes einzelne Kettenglied enthält sowohl eine komplexe Beschreibung der atmosphärischen Bedingungen (Wind, Luftdichte, etc.) in dem abgedeckten Bereich als auch die aktuelle Konfiguration des Flugzeugs.

Zur Flugführung bietet SEA einen einfach zu bedienenden Smart Flight Director (SFD), der ähnlich wie eine ILS-Anzeige funktioniert. In seiner modifizierten Darstellungsform zeigt der SFD die auszuführenden Steuereingaben an und ermöglicht es, nach kurzer Einweisung selbst fliegerisch unerfahrenen Personen (Nicht-Piloten) eine motorlose Notlandung auszuführen.

### Autonomes Fliegen

SEA kann seine Steuereingaben natürlich auch direkt an einen Autopiloten weiterleiten und das Flugzeug

autonom zur Schwelle der Landebahn fliegen. Dies wurde mit der SEA-Vorgängerversion Safe2Land bereits an einem Forschungsflugzeug (Diamond DA42) mit einem Testpiloten des DLR praktisch erprobt. Dazu wurden die dynamischen Eigenschaften des Flugzeugs in Kombination mit dem Autopiloten erfasst und in die Steuerstrategie von SEA integriert. Die autopilotierte Steuerung durch SEA profitiert von dem genaueren Modell der kinematoiden Ketten und wird dadurch wesentlich zuverlässiger als eine menschliche Steuerung. So kann die komplette Notlandung automatisch erfolgen.

### Über SmartFly-Solutions

SmartFly-Solutions unterstützt die Entwicklung von Notlandeassistenzsystemen, die im Falle eines Triebwerksausfalls schnell und zuverlässig Gleitpfade zu einem erreichbaren Landeplatz ermitteln. Außerhalb der Flugplätze können Notlandefelder genutzt werden, die mittels KI-Methoden berechnet wurden. Auch eine Landung durch ein Autopilotensystem ist möglich, um so das Flugzeug autonom zum Landeplatz zu steuern. ■

## Ihr Kontakt

**Prof. Dr.-Ing. habil.  
Wolfram Schiffmann**

Wolfram.Schiffmann@  
SmartFly-Solutions.com

**www.smartfly-solutions.  
com**





## Künstliche Intelligenz für die flexible Produktion von Flugzeugschalen

**In kaum einer Branche werden so viele spezialisierte Einzelteile in kleinen Losgrößen eingesetzt wie im Flugzeugbau. Der damit verbundene Planungsaufwand für die Produktion ist enorm. Gemeinsam mit Airbus Aerostructures forscht die Bergische Universität Wuppertal an einer künstlichen Intelligenz zur Planungsunterstützung.**

Der Produktionsalltag im Flugzeugschalenbau bei Airbus Aerostructures (ASA) ist geprägt von komplexen Planungs- und Umplanungsprozessen. Höchste Qualitätsanforderungen an einzelne Bauteile aus Hochleistungslegierungen bringen Fräsmaschinen an ihre Grenzen, Zertifizierungsprozesse belegen einzelne Maschinen über Tage und Einzelaufträge führen zu Umplanungen. Ein Standardprozess lässt sich nicht ableiten. Das fordert auch die Mitarbeitenden, die für eine robuste und dynamische Planung aller Fertigungs- und Montageprozesse sorgen.

### **Produktionsplanung und KI – ein perfekter Match?**

„Gerade in solchen dynamischen Planungsumgebungen sehen wir großes Potenzial für den Einsatz industrieller KI“, sagt Prof. Dr. Tobias Meisen, Leiter des Institute for Technologies and Management of Digital Transformation (TMDT) an der Bergischen Universität Wuppertal. Das TMDT forscht seit Jahren intensiv und praxisnah an Anwendungen künstlicher Intelligenz im industriellen Kontext. „Planungsprozesse sind zeitaufwändig und hoch

komplex. Die Digitalisierung von Fertigungsprozessen und die Entwicklung digitaler Zwillinge ermöglichen es uns, KI-Methoden als Entscheidungsunterstützung in die Produktionsplanung zu integrieren“, ergänzt Prof. Meisen. Konkret erforscht das TMDT den Einsatz von Deep Reinforcement Learning, das als eine der Königsdisziplinen der KI-Forschung gilt. Das Ziel ist es, selbstlernende KI-Agenten auf Basis tiefer neuronaler Netze zu entwickeln, die Lösungsstrategien für Planungsprobleme erlernen. „Reinforcement Learning ist grundlegend für viele Revolutionen, die wir in den letzten Jahren im Bereich der künstlichen Intelligenz für Schach und Go gesehen haben. Wir fragen uns, auf welche realen Produktionsprobleme sich dieses Lernparadigma anwenden lässt. Wenn wir durch Reinforcement Learning komplexe Strategien zur Beherrschung solcher Spiele lernen, sollten wir diese nicht auch für komplexe strategische industrielle Planungsaufgaben nutzen können?“, fragt Dr.-Ing. Hasan Tercan, Forschungsgruppenleiter am TMDT.

## Reinforcement Learning in Aktion – Anwendungsbeispiele im Flugzeugbau

ASA und TMDT haben die Methoden bereits in zwei Forschungsprojekten erprobt. Das erste Projekt, AGR33D, befasste sich mit der Positionierung von kleinen Bauteilen, die auf die Flugzeugschale geklebt werden sollen. Die Herausforderung: Hunderte von Bauteilen unterschiedlicher Geometrie müssen von einem Roboter kollisionsfrei an schwer zugänglichen Stellen platziert werden. Normalerweise muss für jedes Bauteil eine eigene Bahn manuell bestimmt werden. In einer Simulation konnte der Prozess von einem Reinforcement Learning-Agenten erlernt und erfolgreich in den realen Montageprozess übertragen werden.

Das zweite Forschungsprojekt AlphaMES, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert wurde, beschäftigte sich mit der Titanfräse von ASA. Die enormen mechanischen Belastungen beim Fräsen führen trotz Spezialmaschinen immer wieder zu spontanen Ausfällen einzelner Anlagen. Entsprechend sind kontinuierliche aufwändige Umplanungen der Maschinenbelegung erforderlich. Erschwerend kommt hinzu, dass eine Vielzahl von Werkzeugen, Halte- und Transportvorrichtungen eingeplant werden müssen. Durch die Entwicklung einer Simulation mit Schnittstellen zum ERP-Management-System und zum Maschinenpark konnte ein Deep Reinforcement Learning Agent erfolgreich trainiert werden. „In kleineren, leicht abstrahierten Anwendungsfällen mit weniger Randbedingungen können wir bereits sehr gute Pläne generieren, die typische Zielgrößen wie Produktionsspanne und Liefertreue optimieren“, erklärt Herr Tercan und fährt fort „Die Fräsanlage stellte uns jedoch aufgrund der Vielzahl an Randbedingungen vor neue Herausforderungen. Innerhalb der Laufzeit des Forschungsprojektes konnten wir gute Teilerfolge erzielen, aber leider einige Herausforderungen noch nicht vollständig lösen. Das Projekt war von Anfang an sehr ambitioniert, wenn man bedenkt, was der Stand der

Forschung und Technik bis heute ermöglicht. Die Algorithmen und Methoden entwickeln sich jedoch in einem enormen Tempo weiter. Wir sind in der Wissenschaft weltweit nicht die Einzigen, die Produktionsplanung mit KI lösen wollen. Hier wird in naher Zukunft noch viel passieren.“

„Ehrgeizige Projekte werden uns auch in Zukunft nicht abschrecken, sondern vielmehr anspornen“, so Prof. Meisen. „Generell, aber besonders in der Luftfahrt-industrie, sehen wir viel Potenzial und erleben einen gesunden Optimismus. Eigentlich kein Wunder. Denn wenn es einen Forschungs- und Industriezweig gibt, der für ehrgeizige Projekte, kühne Visionen und Pioniergeist steht, dann ist es die Luft- und Raumfahrt.“

## Über das Institute for Technologies and Management of Digital Transformation

Das Institute for Technologies and Management of Digital Transformation (TMDT) an der Bergischen Universität Wuppertal adressiert in seiner Forschung digitale Technologien als Treiber der digitalen Transformation. Ein wesentliches Merkmal der Forschung ist die interdisziplinäre Ausrichtung und Vernetzung von Wissensgebieten der Informatik mit den Ingenieur-, Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. ■

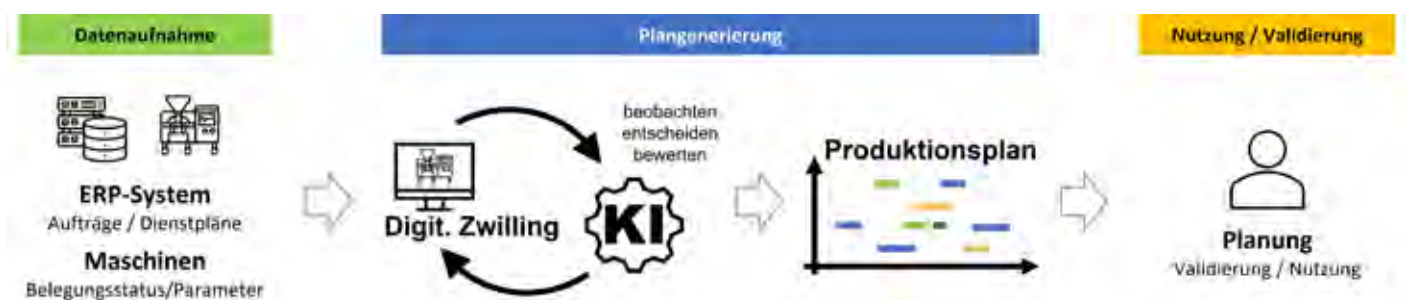
## Ihr Kontakt

**Prof. Dr.-Ing.  
Tobias Meisen**

Institute for Technologies  
and Management of  
Digital Transformation  
der Bergischen Universität  
Wuppertal

meisen@uni-wuppertal.de

[www.uni-wuppertal.de](http://www.uni-wuppertal.de)





## 4JET und NIKON kooperieren – Laser-Haifischhaut aus Alsdorf reduziert CO<sub>2</sub> Emissionen in der Luftfahrtindustrie

Die 4JET Gruppe hat eine umfangreiche Entwicklungskooperation mit der Nikon Corporation bekannt gegeben. Der japanische Hersteller, unter anderem bekannt für seine Kameras, möchte gemeinsam mit den Alsdorfer Oberflächen-spezialisten ein Laserverfahren für die Herstellung des Haifischhaut-Effekts auf Flugzeugen industrialisieren.

Die Luftfahrtindustrie sieht sich derzeit konfrontiert mit einer ihrer bislang wohl größten Herausforderungen – der Transformation hin zur klimaneutralen Luftfahrt. Jedoch, Antriebstechnologien wie Wasserstoff und Biofuels sind absehbar noch Jahrzehnte in der Entwicklung und bieten für tausende, heute eingesetzte Flugzeuge keine Alternative. Entsprechend sind inkrementelle Optimierungen wie Leichtbau, emissionsarme Produktionsverfahren oder die Optimierung von Strömungseigenschaften unverzichtbare Bausteine auf dem Weg zur grünen Luftfahrt.

Genau hier setzt die Entwicklungskooperation der 4JET Gruppe und der renommierten Nikon Corporation an. Denn gemeinsam wollen sie ein Laserverfahren für die Herstellung des Haifischhaut-Effekts auf Flugzeugen industrialisieren, um dessen CO<sub>2</sub> Emissionen und Kerosinverbrauch zu senken.

Die sogenannte Riblet-Technologie wurde von den kleinen Rillen auf der Haut eines Hais inspiriert, die den Fischen helfen, sich effizienter durch das Wasser zu bewegen. Beim von 4JET entwickelten Verfahren werden mit Hilfe von Lasern ähnliche Mikrostrukturen in hoher Geschwindigkeit auf einer Oberfläche erzeugt, um den Luftwiderstand zu verringern und so die Energieeffizienz zu erhöhen.

Das Unternehmen beschäftigt mehr als 180 Spezialisten, darunter über 90 Ingenieure und Expertinnen, in seinem Hauptsitz in Alsdorf (Deutschland) und in seinen Niederlassungen in Atlanta (USA) und Shanghai (China). 4JET hält über 100 Patente und Schutzrechte und investiert regelmäßig mehr als 10% des Umsatzes in Forschung und Entwicklung.

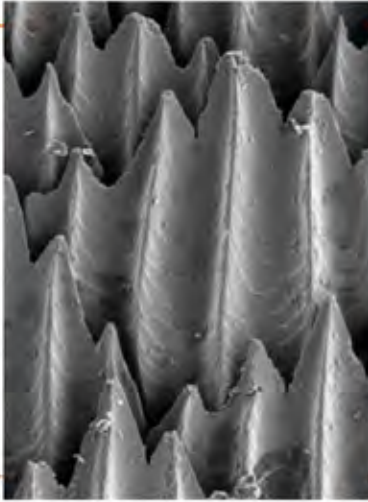


Image of a shark skin.



SEM Image of riblets created by laser in a commercial aerospace paint system

Foto: 4JET Group

Dadurch reduzieren sich der Kerosinverbrauch und die CO<sub>2</sub> Emissionen von Mittel- und Langstreckenflugzeugen um 1-2%. Was nach wenig klingt entspricht potenziellen Einsparungen von 20 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> und Kerosin im Wert von über 1 Milliarde Euro pro Jahr beim Einsatz in der zivilen Luftfahrt. Andere mögliche Anwendungsgebiete sind Windkraft, Schifffahrt und Turbomaschinen.

Die Zusammenarbeit von 4JET und Nikon nutzt das Know-how beider Unternehmen um das Verfahren im industriellen Maßstab umzusetzen und zu qualifizieren. Jörg Jetter, CEO von 4JET, dazu: "Unsere Zusammenarbeit ist die Kombination der 4JET Lasertechnologie und unserer Maschinenbaukompetenz mit dem umfassenden Know-how von Nikon in den Bereichen Optik, Riblet-Technologie und numerischer Strömungsmechanik. Wir freuen uns darauf, mit NIKON und weiteren namhaften Industriepartnern zusammenzuarbeiten, um das enorme Potenzial der laserbasierten Riblet-Technologie in einer Vielzahl von Anwendungen zu nutzen."

Yuichi Shibazaki, Corporate Vice President von Nikon, kommentierte: "Das Team von 4JET verfügt über umfassende Kenntnisse und Fähigkeiten in der fortschrittlichen Lasermaterialbearbeitung sowie über einen hervorragenden Ruf und eine weltweite Marktführerschaft in verschiedenen Branchen. Ihre Technologie- und Wachstumspipeline passt gut zum Portfolio und den Zielen von Nikon, und gemeinsam werden wir die Entwicklung von Riblets beschleunigen, um energieeffizientere und nachhaltigere Industrielösungen anzubieten."

### Über 4JET

4JET entwickelt Lasersysteme für die Oberflächenvorbereitung, Reinigung und Funktionalisierung empfindlicher technischer Oberflächen, sowie für die Mikrobearbeitung von Glas und dünnen Schichten. Zu den Kernmärkten gehören die Photovoltaik und die technische Glasbearbeitung in den Bereichen Display, Halbleiter- und Automotive, sowie die Reifenindustrie und die E-Mobilität.

Seit seiner Gründung im Jahr 2006 hat das Unternehmen einzigartige Prozesstechnologien entwickelt, wie z.B. das PearlCut-Glasschneiderverfahren, die LEAF-Technologie zur Oberflächenmodifikation durch Laserinterferenzstrukturierung und eine Reihe von Laserverfahren zur Werkzeugreinigung, Oberflächenvorbereitung, oder Produktrückverfolgung.

Das Unternehmen beschäftigt mehr als 180 Spezialisten, darunter über 90 Ingenieure und Expertinnen, in seinem Hauptsitz in Alsdorf (Deutschland) und in seinen Niederlassungen in Atlanta (USA) und Shanghai (China). ■

## Ihr Kontakt

### Tobias Köhler

Business Development  
Manager 4JET

+49 2404 9221-0  
tobias.koehler@4jet.de

[www.4jet.de](http://www.4jet.de)



# Keramische Faserverbundwerkstoffe für den Hochtemperatur-Leichtbau

**Hochtemperatur Leichtbau ist eine Schlüsseltechnologie zur Erhöhung der Energieeffizienz von Hochtemperaturprozessen und zur Verringerung von Emissionen. Das DLR entwickelt keramische Faserverbundwerkstoffe für verschiedenste Hochtemperatur-Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt und darüber hinaus.**

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) ist das Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Darüber hinaus betreibt das DLR auch Forschung und Entwicklung in den Bereichen Energie, Verkehr und Sicherheit. Eine der wichtigsten Missionen des DLR ist die Erforschung und Entwicklung von Technologien und Lösungen für eine nachhaltige Mobilität, insbesondere im Bereich Luft- und Raumfahrt. Das DLR Institut für Werkstoff-Forschung am Standort Köln-Porz beschäftigt sich mit der Erforschung und Entwicklung neuer innovativer Werkstoffe und Fertigungstechnologien. Werkstoffe gepaart mit geeigneten Fertigungstechnologien spielen häufig eine Schlüsselrolle in der Realisierung neuartiger Lösungsansätze, so beispielsweise auch zur Erreichung einer energieeffizienten und nachhaltigen Luftfahrt. Durch eine optimierte Verbrennung bei höheren Verbrennungstemperaturen kann der Wirkungsgrad und damit der Kraftstoffverbrauch und die Effizienz von Flugtriebwerken maßgeblich verbessert werden. Gleichzeitig verbessert jede Gewichtsreduktion die Energiebilanz, wodurch neue Hochtemperatur-Werkstoffe mit niedrigem spezifischem Gewicht mehr und mehr in den Fokus rücken. Keramische Werkstoffe sind weithin für ihre überragenden Hochtemperatur-eigenschaften bekannt und gleichzeitig

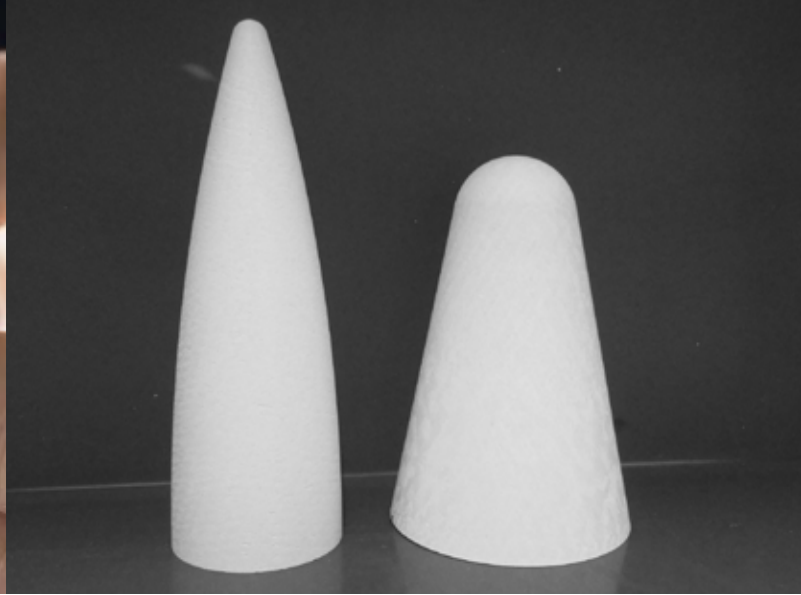
vergleichsweise leicht gegenüber den meisten Metallen. Allerdings stellt die inhärente Sprödigkeit von Keramiken, die bei Überlastung in der Regel ein katastrophales Bruchversagen mit sich bringt, einen erheblichen Nachteil dar. Hierdurch ist ihr Einsatz in kritischen oder sicherheitsrelevanten Anwendungen wie Flugtriebwerken praktisch ausgeschlossen. Zur Lösung dieses Problems wurden in den letzten Jahrzehnten keramische Faserverbundwerkstoffe („ceramic matrix composites“, kurz CMC) entwickelt. Durch die Einbettung von keramischen Fasern in eine keramische Matrix ähnlich wie bei polymeren Faserverbundwerkstoffen wie z.B. CFK kann so ein schadenstolerantes Bruchverhalten ähnlich dem von Holz erreicht werden. Das DLR Institut für Werkstoff-Forschung beschäftigt sich seit über 20 Jahren mit der Entwicklung von vorrangig oxidkeramischen CMC auf Basis von Aluminiumoxid und Mullit.

## **Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten**

Oxidkeramische CMC zeigen eine einzigartige Kombination von hoher Temperatur- und Temperaturwechselbeständigkeit, geringem Gewicht, Oxidations- und Korrosionsbeständigkeit, elektromagnetischer Transparenz, elektrischer Isolationsfähigkeit sowie hoher Wärmeisolation.



Demonstrator Turbinenschaufel-Profil (Quelle: DLR)



Designstudie Radome (Quelle: DLR)

Die Einsatzfähigkeit oxidkeramischer CMC wurde unter anderem in den beiden SHEFEX („Sharp edge flight experiment“) Raumfahrtmissionen des DLR oder für den ESA Raumtransporter ATV 5 als Thermalschutzgehäuse einer Kamera zur Übertragung von Telemetriedaten während des Wiedereintritts in die Erdatmosphäre erfolgreich demonstriert. Die Eigenschaftskombination macht oxidkeramische CMC aber auch für eine Vielzahl an Anwendung jenseits der Hightech Luft- und Raumfahrtindustrie attraktiv. Trotz des hohen Anwendungspotentials ist Werkstoffklasse der CMC bisher immer noch weitgehend unbekannt. Darüber hinaus wird der industrielle Einsatz derzeit durch teils hohe Material- und Fertigungskosten, schwankende Materialqualitäten und unzureichende Fertigungstechnologien beschränkt. Um diese Probleme zu lösen und den Weg zu einer breiteren industriellen Anwendung von CMC-Werkstoffen zu ermöglichen wurde in den letzten Jahren am DLR ein neuartiges Fertigungsverfahren namens IFOX® („Infusion fabricated oxide CMC“) entwickelt.

### Fertigungstechnologien am DLR

Neben dem klassischen Nass-Wickelverfahren, bekannt unter dem Markennamen WHIPOX® („Wound Highly Porous Oxide CMC“), welches insbesondere für die Herstellung rotationssymmetrischer Körper geeignet ist, eignet sich das neue IFOX® Verfahren insbesondere für die reproduzierbare Herstellung ebener zweidimensionaler Strukturen zwischen ca. 0,5 und 20 mm Dicke sowie für die Herstellung komplex geformter, endkonturnaher 3D-Bauteile. Grundlage des Verfahrens ist ein Vakuum- und Druckunterstützter Infusions- und Trocknungsprozess in einer geschlossenen Form. Das IFOX®-Verfahren verspricht erstmalig eine reproduzierbare, automatisierbare und skalierbare Fertigungstechnologie für faser-

verstärkte (Oxid-) Keramiken und schafft damit die Voraussetzungen für eine breite und effiziente industrielle Nutzung dieser Werkstoffklasse.

Zum erfolgreichen Transfer der Technologie in die industrielle Anwendung wurde im September 2023 das Helmholtz Enterprise Spin-off Projekt FOX Composites gestartet. Zur weiteren Erhöhung der Technologiereife und der Entwicklung konkreter Anwendungs- bzw. Produktideen mit interessierten Partnern ist derzeit ein weiteres Technologie-Transferprojekt in Vorbereitung.

Sie sehen Anwendungspotential für oxidische CMC auch in Ihrer Branche oder haben einen konkreten Anwendungsfall? Dann melden Sie sich gerne bei uns. ■

## Ihr Kontakt

### Dr. Vito Leisner

Ansprechpartner Spin-off  
Projekt FOX Composites

vito.leisner@dlr.de



### Michael Welter, PhD

Ansprechpartner Material-  
& Technologieentwicklung  
CMC

michael.welter@dlr.de

[www.dlr.de](http://www.dlr.de)  
[www.foxcomposites.com](http://www.foxcomposites.com)



# pro. EVOLUTION - Hochleistungs- Propeller „Made in Aachen“



Lars Linnemann (CEO Fibraworks), Konrad Dziamski (Projekt Ingenieur Fibraworks), Nikolaus von Kummer (Leiter Geschäftsfeld Flugzeug Propeller & Projekt Ing.), Prof. Dr.-Ing. Tobias Weber (Fachbereich 6 – Luft- & Raumfahrt FH-Aachen), Rico Hubert (Projekt Ingenieur FH-Aachen) (v.l.)

**Die Elektrifizierung des Luftverkehrs steht derzeit im Mittelpunkt der nachhaltigkeitsorientierten Luftfahrtbranche. Fliegende elektrische Transportmittel wie Lufttaxis, Kleinflugzeuge oder Drohnen benötigen jedoch leichte und gleichzeitig extrem leistungsfähige Propeller. Die Herausforderung: Mit den aktuellen Produktionsmethoden können solche Propeller in der zukünftig benötigten Menge nicht für „E-Flieger“ hergestellt werden.“**

Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz fungieren heute als die Treiber innovativer elektrischer Mobilitätskonzepte. Intuitiv verbindet man dies zunächst mit Elektrofahrzeugen, weniger bekannt und eher futuristisch anmutend sind diese Bestrebungen in der Luftfahrt. Elektrifizierte Antriebe sind für die urbane Mobilität zukünftig von immenser Bedeutung, insbesondere im Hinblick auf den European Green Deal und die damit einhergehenden Klimaziele. Daher steht eine Effizienzsteigerung der Mobilitätskonzepte mittlerweile industrieweit im Fokus, so dass auch in der Luftfahrt unter dem Zauberwort „Urban Air Mobility“, kurz UAM, weltweit hunderte elektrische Drohnen und Flugtaxi-Konzepte entwickelt werden, Tendenz stark steigend. Zu nennen sind hier beispielsweise das urbane Flugtaxi VoloCity der Volocopter GmbH aus Bruchsal, oder der Lilium Jet der Lilium GmbH mit Sitz in Wessling. Es wird prognostiziert, dass in den kommenden Jahren Flugtaxis zu einem normalen Alltagsbild gehören und im Jahr 2035 mehr als 15% der Nutzer des ÖPNV darauf zurückgreifen.

Um diesem urbanen Luftverkehr nachhaltig effiziente, elektrische „Flügel“ zu verleihen, müssen zeitnah zentrale

Schlüsselemente der Drohnen und Flugtaxis entwickelt und etabliert werden. Dies umfasst unter anderem die notwendigen Technologien und rechtlichen Rahmenbedingungen für UAM-Konzepte, als auch die gesellschaftliche Akzeptanz dieser neuartigen Fluggeräte. Es müssen klimafreundliche Konzepte entwickelt werden, damit UAM eine echte Alternative zu konventionellen Mobilitätsvarianten darstellen können. Für erschwingliche und massentaugliche Flugtaxis müssen sinnvolle und optimierte Kombinationen von Nutzlast, Reichweite und Betriebskosten der Fluggeräte realisiert werden. Im Prinzip ist dies einfach nachzuvollziehen, wenn Fluggeräte leichter werden, brauchen sie weniger Energie zum Abheben, haben höhere Reichweiten oder können mehr Nutzlast befördern. An dieser Stelle ergibt sich die Frage, wo sind die industriellen Herausforderungen bei der Umsetzung dieser UAM-Konzepte und welchen Beiträge kann die exzellente Spitzenforschung und Industrie aus Aachen und Umgebung dabei leisten?

Im Prinzip ist dies einfach erklärt, eben nur mit effizienten Antrieben können moderne Mobilitätskonzepte nachhaltig und wirtschaftlich betrieben werden. Zentrale



Herausforderung für eine wirtschaftliche Zukunft von Flugtaxi und Drohnen ist es, die skalierten und quantifizierbaren Prozesse für eine großvolumige Serienfertigung, wie z.B. in der Automotive-Branche, auf das UAM-Segment mit Ihren Leichtbautechnologien zu übertragen, ohne dabei die hohen Sicherheitsstandards in der Luftfahrt zu mindern. Genau in diesem Punkt setzt das im Oktober 2021 von der FH Aachen University of Applied Sciences, der Fibraworks GmbH sowie der Helix-Carbon GmbH gestartete Forschungs- und Entwicklungsprojekt pro.EVOLUTION an.

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, BMWi, über das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand, ZIM, mit mehr als 500.000 € geförderten, zweijährigen Projektes werden von den beteiligten Partnern innovative und kosteneffiziente Propeller sowie deren Herstellung aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet. Die Forscher\*innen und Ingenieur\*innen aus Aachen, wollen in einem ganzheitlichen Ansatz hochleistungsfähige Propeller für elektrisch angetriebene Flugtaxi entwickeln, damit diese in Zukunft effizienter und wirtschaftlicher fliegen und vor allem auch in großen Stückzahlen gebaut werden können. Auf Basis neuer Leichtbauwerkstoffe, wie z.B. maßgeschneiderter kohlenstofffaserverstärkter Kunststoffe und deren Halbzeuge, digitaler Softwaretools und Berechnungsmethoden sowie neuer skalierbarer Fertigungsprozesse soll ein innovativer, Hochleistungs-Propeller „Made in Aachen“ für sogenannte eVTOL-Fluggeräte (electrical Vertical Take-Off and Landing), d.h. elektrisch betriebener, senkrecht startend und landende Flugtaxi und Drohnen entwickelt werden.

Das Konsortium für das ambitionierte Kooperationsprojekt pro.EVOLUTION kommt dabei nicht von ungefähr. Die verantwortlichen Initiatoren des Projekts, Prof. Dr.-Ing. Tobias Weber (FH Aachen), Dipl.-Ing. (FH) Nikolaus von Kummer (Helix-Carbon) sowie Dipl.-Ing. (FH) Lars Linnemann (Fibraworks) sind allesamt Luftfahrt affine Ingenieure, die um die Stärken der Region Aachen im Bereich Leichtbau wissen. Die Partner bündeln im Projekt gezielt entscheidende Kompetenzen und Expertisen entlang der Wertschöpfungskette für die Propellerproduktion in der Region Aachen. Um die FVK-Propellerproduktion auf eine großvolumige Serienproduktion zu überführen, soll am Beispiel eines bestehenden eVTOL-Propellers ein neuer ganzheitlicher Prozess entwickelt werden. Dieser beinhaltet sowohl die Entwicklung maßgeschneiderter FVK-Halbzeuge, neuer textiler Halb-

zeug- und Propeller-Fertigungsprozesse, als auch die Digitalisierung der empirischen FVK-Bauteilfertigung.

Zum Ziel haben die Projektpartner unter anderem auch die Reduktion der Bauteilkosten für eVTOL-Propeller und die Skalierung der Propeller Produktion beim Weltmarktführer Helix-Carbon GmbH am Forschungsflugplatz Aachen-Merzbrück. Gleichzeitige zielt man auf eine Optimierung des Propellerdesigns für mehr Effizienz und bessere Wirkungsgrade. Der Fachbereich Luft- und Raumfahrttechnik der FH Aachen erarbeitet in diesem Zusammenhang ein Softwaretool, das dabei hilft, die nötige Auslegung des Propellers und das Maßschneiden der textilen Gelege durchzuführen. Die Entwicklung und Fertigung der maßgeschneiderter Halbzeuge übernimmt das Startup Fibraworks GmbH mit Sitz in Roetgen. Deren innovativer Wickelprozess soll sogenannte multiaxiale Tailored Non-Crimp Fabrics (T-NCF) für den Einsatz in den eVTOL-Propellern produzieren, die dazu beitragen sollen die Produktion der Propeller hinsichtlich Kosten, Stückzahlen und Eigenschaften zu optimieren.

Zusammengefasst leistet pro.EVOLUTION einen entscheidenden Beitrag, maßgeschneiderte Faserverbundmaterialien in hocheffizienten und kostengünstigen Prozessen herstellen und weiterverarbeiten zu können. Auf diese Weise wird der Leichtbau nicht nur im UAM-Sektor gefestigt, sondern einem breiteren Einsatzspektrum zugänglich gemacht und unterstützt gleichzeitig die Weiterentwicklung neuartiger, klimafreundlicher Mobilitätskonzepte mit Propellern „Made in Aachen“.

## Ihr Kontakt

### Nikolaus von Kummer - Dipl.-Ing. (FH)

Business unit manager  
Aircraft Propeller Division  
/ Noise Measurement  
Department  
Helix-Carbon

[info@helix-propeller.de](mailto:info@helix-propeller.de)

[www.helix-propeller.de](http://www.helix-propeller.de)





## CONDOR und DRZ – Gemeinsam mehr erreichen!

Gemeinsam mehr für den Einsatz von Rettungsrobotik erreichen wollen v.l.: Dirk Aschenbrenner, 1. Vorsitzender DRZ und Leiter des Instituts für Feuerwehr und Rettungstechnologie, Cornelius Toussaint, geschäftsführender Gesellschafter CONDOR Gruppe, Nicola Rupp, Koordinatorin Living Lab und Strategische Kommunikation, und Robert Grafe, Geschäftsführer DRZ.

**Die CONDOR-Gruppe aus Essen ist in der Sicherheitswirtschaft Deutschlands Innovationstreiber bei den Themen landgestützte Robotik, Drohnen und Künstliche Intelligenz (KI). Im Rahmen der Netzwerk- und Branchenentwicklung ist das mittelständische Familienunternehmen Mitglied im Deutschen Rettungsrobotik Zentrum e.V. (DRZ) Dortmund.**

Der Einsatz von Drohnen-Technologie oder Künstlicher Intelligenz zur Verbesserung der Dienstleistungsqualität und Optimierung von Planungsprozessen sind in der Realität angekommen und nicht mehr wegzudiskutieren. „Sie werden, ebenso wie das Internet der Dinge, feste Bestandteile und Determinanten für Entwicklungsprozesse in nahezu allen Lebensbereichen“, ist Cornelius Toussaint, geschäftsführender Gesellschafter der CONDOR-Gruppe überzeugt. Daher gehören diese technologischen Errungenschaften und Entwicklungen zur Unternehmenskultur und machen Cornelius Toussaint zum Innovationstreiber der privaten Sicherheitswirtschaft Deutschlands. In Forschungsprojekten mit Hochschulen, Feuerwehr- und Rettungsdiensten bringt sich CONDOR als Technikpartner mit ihren spezialisierten Drohnen-

unternehmen sowie ihrer drohnenspezifischen Hard- und Softwarekompetenz ein. Hierzu zählen Projekte, wie z.B. „INSPIRE“ im nordrhein-westfälischen Paderborn oder „5G. Stadt. Land. Leben retten“ im baden-württembergischen Ulm. Im Rahmen der Netzwerk- und Branchenentwicklung ist das mittelständische Familienunternehmen Mitglied im Deutschen Rettungsrobotik Zentrum e.V. (DRZ) Dortmund.

Der gemeinnützige Verein (DRZ) wurde im Jahre 2018 gegründet und verfolgt den Zweck, die Entwicklung von Robotersystemen zur Unterstützung bei Rettung und Schutz von Menschen und Sachwerten zu fördern. „Im Fokus des DRZ befinden sich Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Rettungsrobotik. Hier können wir



„Die Außen- und Indoor-Anlage des DRZ in Dortmund bietet inklusive Tauchbecken unterschiedlichste Möglichkeiten, bodengestützte und Tauchrobotik sowie Drohnen vor herausfordernde Szenarien zu stellen“, betont Robert Grafe, Geschäftsführer DRZ. (Fotos: DRZ)

dank unserer langjährigen Erfahrungen aus den verschiedenen Forschungs- und Kundenprojekten zielführende Beiträge leisten“, so Cornelius Toussaint weiter. Zudem zielt das DRZ auch auf die Berufsbildung, die Rettung aus Lebensgefahr und Feuer-, Arbeits-, Bevölkerungsschutz sowie Unfallverhütung ab. Hier schließt sich aus Sicht des Unternehmers ein weiterer Aspekt an. „Der zunehmende Einsatz von Robotik erfordert eine deutliche Weiterentwicklung der Ausbildung von Fähigkeiten. Das gilt sowohl für den privaten als auch den behördlichen Sicherheitssektor“, merkt Toussaint an. Daher sei die CONDOR-Gruppe unter anderem auch an der Mitgestaltung der Aus-, Fort- und Weiterbildung von Drohnen-Piloten und Datenanalysten interessiert. Hier könne dem DRZ eine weit über den Forschungsbereich hinausgehende Kernkompetenz erwachsen.

hohen Nutzens von Robotik wichtig. „Forschung und Entwicklung in den Unternehmen ist kein Selbstzweck der Ingenieure. Vielmehr sollen Produkte und Prozesse entwickelt werden, die einen wirksamen Mehrwert für die Nutzer bieten. Insofern profitieren unsere Ingenieure von dem engen Austausch mit den Experten der Feuerwehr- und Rettungskräfte aber auch den anderen Partnern im DRZ. Gemeinsam können wir neben technischen Fragen auch die Qualität der Ausbildung sowie normative Fragen kompetent und zielführend gestalten“, so Cornelius Toussaint abschließend.

### Über die CONDOR Gruppe

Seit 1978 sorgt die CONDOR-Gruppe für Schutz und Sicherheit. In den 2010er Jahren begann die Gruppe, einsatzfähige Drohnensysteme (UAS) zu entwickeln und zu programmieren. In der Piloten-Ausbildung und Durchführung von Flugaufträgen sowie dem Vertrieb von Drohnen-Hard- und Software ist CONDOR führend in der Sicherheitswirtschaft. CONDOR bietet 24/7-Security-Drohnen und VTOL-Systeme zur Strecken- und Flächenüberwachung an.



„Vom Austausch unterschiedlicher Kompetenzträger und Erfahrungswerte profitiert am Ende die Rettungskette und somit unsere Einsatzkraft sowie die zu rettende Person“, ist Dirk Aschenbrenner, Vorsitzender des DRZ (Bild 2.v.l.), überzeugt.

Das DRZ böte zudem Vernetzungs- und der Austauschmöglichkeiten mit Einsatzkräften, Anwendern, Firmen und Forschungseinrichtungen. Dies sei angesichts des

## Ihr Kontakt

**Cornelius Toussaint**

CEO CONDOR-Gruppe

service@condor-sicherheit.de

[www.condor-sicherheit.de](http://www.condor-sicherheit.de)



# H<sub>2</sub>-Sicherheit in Laboren und Werkstätten



©ZSW / M. Duckek

**Wasserstoff (H<sub>2</sub>) stellt eine der vielversprechendsten Alternativen in der klimaneutralen Luft- und Raumfahrt dar. Wie bei anderen Betriebsstoffen auch, erfordert der sichere Umgang mit Wasserstoff, dass Einrichtungen und Arbeitsmethoden entsprechend seiner Eigenschaften angepasst werden.**

## **Wasserstoff in der Luft- und Raumfahrt**

Das Ziel der vollständigen Dekarbonisierung der EU bis 2050 erfordert von vielen Industrien den Umstieg von fossilen Kraftstoffen auf erneuerbare und CO<sub>2</sub>-neutrale Alternativen. Auch für die Luft- und Raumfahrt bedeutet dies einen Bedarf an Innovation bezüglich neuer Technologien wie Wasserstoff und Brennstoffzelle, die aufgrund ihrer vielseitigen Eigenschaften eine wichtige Rolle in der Energiewende spielen werden.

## **Die Eigenschaften von Wasserstoff**

Wasserstoff kann sowohl in gasförmiger als auch flüssiger Form eingesetzt werden. Gasförmiger Wasserstoff ist geruchlos, farblos und nicht giftig. Wie andere Kraftstoffe auch, bildet er zusammen mit Sauerstoff ein zündfähiges

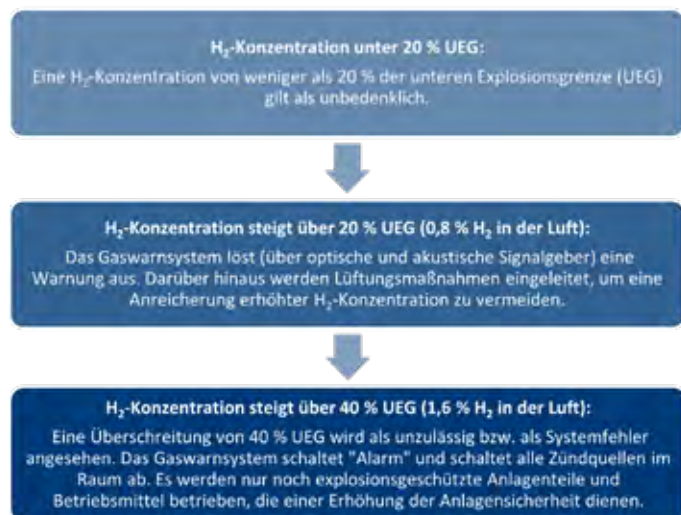
Gemisch. Die untere Konzentrationsgrenze (UEG) für die Zündung beträgt bei diesem Gasmisch ca. 4 % und die Zündungstemperatur ca. 560 °C mit einer minimalen Zündenergie, die deutlich unter dem Wert einer durchschnittlichen statischen Entladung liegt. Nicht zuletzt hat Wasserstoff eine deutlich geringere Dichte (0,089 kg/m<sup>3</sup>) als Luft (Dichte der Luft ca. 1,225 kg/m<sup>3</sup>) und steigt somit nach Freisetzung auf. Bei Temperaturen von -253 °C verflüssigt sich Wasserstoff. In diesem Zustand hat Wasserstoff eine sehr hohe volumetrische Dichte, weshalb flüssiger Wasserstoff für die Luft- und Raumfahrt von besonderem Interesse ist.

## **Sicheres Arbeiten mit Wasserstoff**

Während die Nutzung von Wasserstoff in der Luftfahrt

noch am Anfang steht, da bisher Kerosin als Treibstoff verwendet wird, wird Wasserstoff in der Raumfahrt seit vielen Jahren insbesondere als Raketenantrieb genutzt. Zukünftig soll in der Raumfahrt verstärkt auf reversible Energiesysteme gesetzt werden, bei denen Elektrolyseur - zur Erzeugung von Wasserstoff - und Brennstoffzellen - zur Erzeugung von Strom - eingesetzt werden. Hierfür werden erforderliche Tests und Versuche in Laboren durchgeführt. Der Umgang mit Wasserstoff ist, wie der Umgang mit anderen Betriebsstoffen auch, aus Sicht des Arbeitsschutzes zu betrachten. Sowohl in Laboren mit H<sub>2</sub>-Prüfständen als auch in Werkstätten erfordert die Arbeit mit Wasserstoff eine entsprechend angepasste Herangehensweise, die z.B. im Rahmen der üblichen Gefährdungsbeurteilung festgelegt wird. In diesem Zusammenhang empfiehlt es sich, die folgende grundsätzliche Herangehensweise mitzubedenken:

Die Bildung eines zündfähigen Gemisches aus Wasserstoff und Luft ist zu vermeiden. Da Wasserstoff aufgrund seiner spezifischen Eigenschaften nicht anders wahrgenommen werden kann, wird das Austreten von Wasserstoff in der Regel durch Gassensoren detektiert. Diese warnen und aktivieren zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen, wenn sie die Überschreitung kritischer Wasserstoffkonzentrationen messen. Diese Konzentrationen liegen typischerweise weit entfernt von einem zündfähigen Gasgemisch bei 20 % bzw. 40 % der UEG von Wasserstoff.



### Fazit

Mit zunehmender Verwendung von Wasserstoff in der Luft- und Raumfahrt sind auch Arbeitsmittel und Gefährdungsbeurteilungen in Laboren und Werkstätten auf Wasserstoff anzupassen, so wie es in anderen

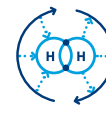
Einsatzgebieten von Wasserstoff bereits seit vielen Jahren gemacht wird. Auch die European Space Agency (ESA) setzt wieder vermehrt auf den Einsatz von Wasserstoff und Brennstoffzellen und hat mit Unterstützung von EMCEL ein Wasserstoff-Testlabor für den sicheren Betrieb aufgerüstet.

### Über EMCEL

Das Kölner Ingenieurbüro EMCEL berät technologieoffen und herstellerunabhängig zu den Themen Sektorenkopplung, Wasserstofftechnologie und -infrastruktur. Unseren Kunden bieten wir Technologieverständnis und Investitionssicherheit, denn wir kennen den Markt, die Hersteller und die Technik. Wir begleiten unsere Kunden von der ersten Konzeptskizze bis zur Umsetzung und erstellen Potenzialanalysen, Machbarkeitsstudien, Fein- und Umsetzungskonzepte.



E-Mobilität und Elektrifizierung von Nutzfahrzeug-Flotten



Sektorenkopplung und Wasserstoff-Infrastruktur



Wasserstoff-Qualitätsmessung und Analytik

## Ihr Kontakt

### Marcel Corneille

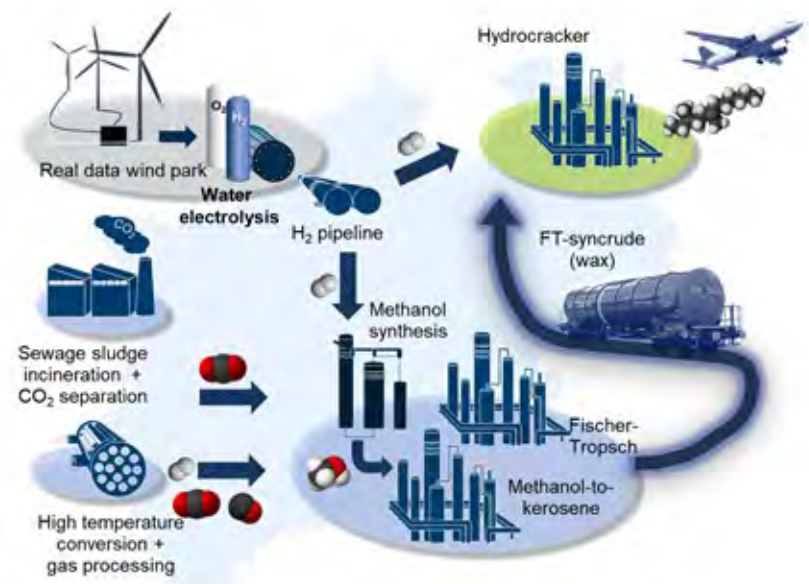
Geschäftsführer EMCEL

+49 221 292695 212  
mc@emcel.com

[www.emcel.com](http://www.emcel.com)



# Sustainable Aviation Fuel (SAF) als Beitrag zur Transformation der Reviere in NRW



Maßgeschneiderte Konzepte können mittelfristig zur Produktion synthetischer, grüner Treibstoffe oder chemischer Vorprodukte führen. Großskalige Anlagen lassen sich heute nicht ohne erhebliche zusätzliche Anreize und Schaffung geeigneter Randbedingungen durch die Politik wirtschaftlich realisieren.

Die Luftfahrtindustrie sucht in unterschiedlichen Richtungen nach alternativen Lösungen zum herkömmlichen Kerosin. Batterien und gasförmige Treibstoffe können in der Luftfahrt auf absehbare Zeit nicht für große Einsatzreichweiten eingesetzt werden. Batteriebetriebene Flugzeuge sind aufgrund der geringen Energiedichte der Batterien auf die allgemeine Luftfahrt (kurze Reichweiten; kleine Flugzeuge (-geräte)) beschränkt. Wasserstoffbasierte Brennstoffzellensysteme sind aufgrund der begrenzten volumetrischen und gravimetrischen Energiedichte bei der Speicherung nur für kleinere Flugzeuge und die Kurzstrecke realisierbar. Wasserstoffbetriebene Strahltriebwerke können die CO<sub>2</sub>-Herausforderung bis zu einem gewissen Grad lösen, aber das Problem der begrenzten Speicherkapazität an Bord lässt keine großen Missionsreichweiten zu. Außerdem sind für wasserstoffbasierte Antriebs-techniken mit langen Entwicklungs- und Zertifizierungs-zeiträumen zu rechnen. Daher müssen für den künftigen Bedarf des Luftverkehrs bei gleichzeitiger Erreichung der gesteckten CO<sub>2</sub>-Einsparziele erneuerbare flüssige Kraftstoffe verfügbar gemacht werden.

## Prozesse für SAF

Zur Herstellung von SAF wird Wasserstoff aus einer Wasser-Elektrolyse unter Nutzung von erneuerbarem Strom mit CO<sub>2</sub> aus verschiedenen Quellen kombiniert. CO<sub>2</sub>-Quellen können z.B. die Klärschlammverbrennung mit sich anschließender CO<sub>2</sub>-Abtrennung oder langfristig die

Hochtemperaturkonversion von Klärschlämmen und Bioabfällen sein. Zwei Synthesewege bieten sich an: die klassische Fischer-Tropsch-Synthese oder die Methanol-zu-Kerosin-Route. Es wird ein synthetisches Öl gebildet, welches dann auf geeigneten Wegen in eine zentral gelegene Raffinerie transportiert wird. Ein Hydrocracker verarbeitet dieses synthetische Vorprodukt analog zu fossilen Rückstandsölen unter Wasserstoffzugabe zu den bekannten Kraftstoffprodukten: Benzin, Diesel und Kerosin. Das Titelbild zeigt die zugehörige Graphik.

## Das Projekt NRW-Revier-Power-to BioJetFuel

Im Rahmen der Konzeptstudie NRW-Revier-Power-to BioJetFuel wurden drei Verfahrensvarianten durch die Partner RWE Power, RWE Renewables, BP Europa und Forschungszentrum Jülich intensiv beleuchtet. Die folgende Grafik zeigt die Varianten im Fließbild.



Im NRW-Revier-Power-to-BioJetFuel-Projekt untersuchte Varianten zur Herstellung von nachhaltigem eFuel.

Im Rahmen der Potenzialstudie wurden die folgenden Konzeptvarianten unter Berücksichtigung der jeweiligen Standortcharakteristiken an den ermittelten Top-Standorten definiert:

**V1-FT:** Aufbau eines Windparks am Knapsacker Hügel mit direkter Kopplung zur Elektrolyse und Bereitstellung von grünem H<sub>2</sub>. Das benötigte CO<sub>2</sub> wird aus der Klärschlamm-Monoverbrennungsanlage abgetrennt und zusammen mit dem grünem H<sub>2</sub> der CO<sub>2</sub>-basierten FT-Synthese mit rWGS-Stufe zugeführt.

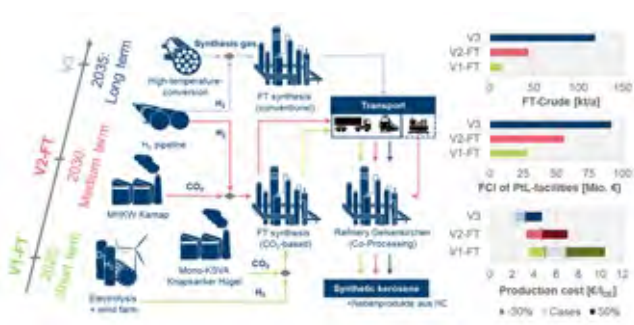
**V2-FT:** Grüner H<sub>2</sub> wird aus einer Pipeline am Standort Essen-Karnap bezogen. Das benötigte CO<sub>2</sub> stammt aus dem Rauchgas des Müllheizkraftwerks. Auch hier wird die CO<sub>2</sub>-basierte FT-Synthese eingesetzt.

**V3:** Ähnlich wie bei Variante V2 Bezug von grünem H<sub>2</sub> durch eine Pipeline. Allerdings wird hier nur eine deutlich geringere Menge an H<sub>2</sub> extern bezogen, da Synthesegas aus einer Hochtemperaturkonversion die Syntheserohstoffe liefert.

Es wurden ausschließlich die FT-Varianten untersucht, da das FT-Verfahren aufgrund seines höheren technologischen Reifegrads eine kurzfristige Realisierung einer Demonstrationsanlage ermöglicht und die erforderliche Lizenzierung für den Einsatz in der Luftfahrt besitzt.

Skaleneffekte. Dies wird noch deutlicher bei Auftragung, der Spannweiten der abgeschätzten Herstellungskosten für die Varianten. In Variante V1 ist die Spannweite der Parametervariation in grau dargestellt. Die Herstellungskosten in den Varianten V2 und V3 sind im Vergleich zu Variante V1 im Mittel reduziert. Als maßgebliche Schlussfolgerung ist zu vermerken, dass bis ca. Ende 2027 nur die Variante V1 am Knapsacker Hügel umsetzbar ist. Die Varianten V2 und V3 kommen für die kurzfristige Bereitstellung von PtL-Kerosin nach den gefassten Zielsetzungen bis 2030 aufgrund des erwarteten Zeithorizonts für den Ausbau der H<sub>2</sub>-Versorgung über eine H<sub>2</sub>-Pipeline zunächst nicht in Frage. Dennoch sind diese Varianten aufgrund ihrer besonderen Standortvorteile, der technischen Randbedingungen und ihres Skalierungspotenzials für den weiteren Ausbau der Produktionskapazitäten von synthetischen Treibstoffen ab 2030 sehr interessant.

Die favorisierte Variante – die Demo-Anlage in Verbindung mit der Klärschlamm-Monoverbrennung am Knapsacker Hügel – erlaubt eine vergleichsweise zügige Umsetzung bis Anfang 2028 und stellt damit eine Blaupause zur Erzielung eines schnellen Beitrages zum Klimaschutz unter Erhalt hochwertiger Industriearbeitsplätze dar. Die Technik der skizzierten Demonstrationsanlage ist skalierbar, woraus sich für die Zukunft Kostendegressionspotenzial ergibt. Im Hinblick auf die Klimaschutzziele sollte die Kohlenstoff-Kreislaufwirtschaft auf Basis der biogenen Kohlenstoffquelle Klärschlamm mit der Synthese nachhaltiger Treibstoffe unter Nutzung grünen Wasserstoffs eine Bonusbewertung in den politischen Rahmenbedingungen erhalten. ■



Graphical Abstract zu den wesentlichen Erkenntnissen aus dem BioJetFuel-Projekt (Stand: Januar 2022); +X: (aus heutiger Sicht 9/2023: X > 2)

Die drei ausgewählten Top-Varianten V1-FT, V2-FT und V3 werden durch den im obigen Bild eingetragenen Zeitstrahl den verschiedenen Umsetzungsphasen kurz-, mittel- und langfristig zugeordnet, 2025+X (V1), 2030 (V2) und 2035 (V3). In allen Varianten werden die Rohprodukte zur Weiterverarbeitung in die Raffinerie transportiert und dort zu synthetischem Kerosin und weiteren nachhaltigen Produkten umgewandelt. Die Skalierung wird durch die Produktkapazität an FT-Rohprodukten (FT-Crude, rechts oben) verdeutlicht, die Investitionskosten (FCI) der Anlagen zeigen deutliche

## Ihr Kontakt

**Prof. Ralf Peters**

Direktor (komm.) des  
Instituts für Energie- und  
Klimaforschung

IEK-14: Elektrochemische  
Verfahrenstechnik

Forschungszentrum Jülich  
GmbH

ra.peters@fz-juelich.de

[www.fz-juelich.de/de/iek/iek-14](http://www.fz-juelich.de/de/iek/iek-14)





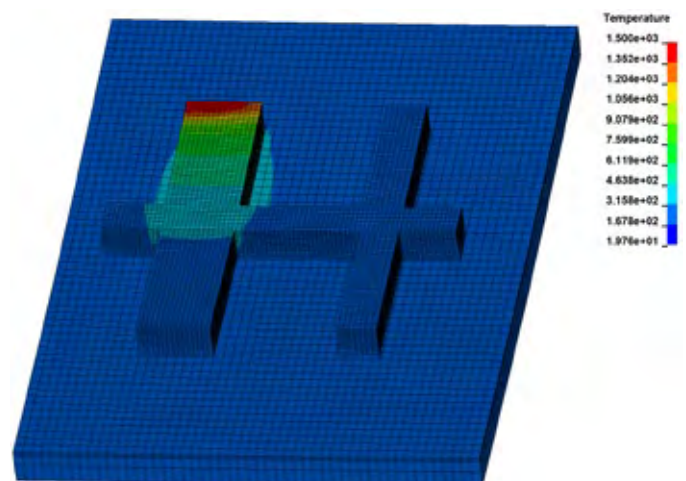
## Luftfahrtstrukturen aus dem Lichtbogen: Nachhaltig, effizient, digital.

Die HEGGEMANN AG hat in den letzten Jahren das additive WAAM-Verfahren (Wire Arc Additive Manufacturing) weiterentwickelt und industrialisiert. Dabei lag der Schwerpunkt auf der reproduzierbaren Sicherstellung luftfahrttauglicher Materialqualität, u.a. durch die Digitalisierung der gesamten Prozesskette.

Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Luftfahrt spielt auch die Optimierung von Fertigungsprozessen für Flugzeugteile eine zentrale Rolle. Zudem erfordert die Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit der Luftfahrtindustrie am Standort Deutschland stetige Innovationen für industrielle Prozesse. Idealerweise kombinieren diese Innovationen die Potentiale zur Effizienzsteigerung unterschiedlicher Technologieansätze (z.B. Fertigungstechnik, Digitalisierung, KI) und stärken damit die Position der oft mittelständischen Zulieferunternehmen im globalen Luftfahrtmarkt.

Vor diesem Hintergrund ist das Interesse der Branche an material- und energieeffizienten additiven Verfahren zur Herstellung endkonturnaher metallischer Halbzeuge sehr groß. Bei den heute verfügbaren Varianten additiver Verfahren für metallische Werkstoffe zeigt insbesondere das WAAM-Verfahren ein sehr großes Potential auf. Mit relativ geringen Anlagenkosten und entsprechendem schweißtechnischen Know How können Aufbauraten von 3-5 kg/h energieeffizient mit dem additiven Draht-Lichtbogen-Verfahren realisiert werden.“

HEGGEMANN hat in den letzten 5 Jahren in Kooperation mit interdisziplinären Partnern eine eigene roboter-gestützte WAAM-Anlage mit einer CMT (Cold Metal Transfer) Stromquelle entwickelt, aufgebaut und im industriellen Umfeld erprobt. Mit dieser Anlage sind endkonturnahe Strukturen von bis zu 1500 x 1000 x 800 mm aus Titan, hochwarmfesten Nickellegierungen sowie hochfesten nichtrostenden Stahllegierungen prozess-



Thermische Prozesssimulation - Ziel: Optimierung des Fertigungsprozesses (Maximierung der Aufbaurate & Optimierung der Materialeigenschaften durch Steuerung der Abkühlgradienten)



sicher herstellbar. Unterschiedlichste Aluminiumlegierungen werden aktuell ebenfalls untersucht. Für die Erfassung, Visualisierung und Speicherung aller prozessrelevanten „Key Values“ haben die Luftfahrtschweißexperten bei HEGGEMANN die Anlage mit entsprechenden Sensoren ausgestattet, die zeitlich synchronisiert eine 100%-ige Transparenz entlang der gesamten WAAM-Prozesskette gewährleisten.

Dabei entwickelten die Ingenieure bei HEGGEMANN sowohl für das Bauteil als auch für den WAAM-Prozess selbst jeweils einen digitalen Zwilling. Diese wurden mittlerweile anhand erster gedruckter Demonstratorbauteile erfolgreich validiert. Auf der Basis der 3D-CAD Daten und der Schweißparameter des CMT-Prozesses kann mit der thermischen Simulation die material- und geometrieabhängig ideale Schweißreihenfolge vorab bestimmt werden. Dies spart viele Iterationsschleifen und damit Energie und Material im Einfahrprozess. Daher wurde auch die WAAM-Zelle mit allen wesentlichen Komponenten und dem Energieeintrag der Schweißstromquelle in der digitalen Welt abgebildet.

Als zertifiziertes Luft- und Raumfahrtunternehmen mit jahrzehntelanger Erfahrung stellte HEGGEMANN den „Quality First Ansatz“ von Beginn an in den Mittelpunkt der Entwicklungsarbeiten, um das WAAM-Verfahren hinsichtlich der Prozesssicherheit analog geltender Regelwerke und Anforderungen der Luftfahrt zu industrialisieren. Herausgekommen ist nun ein mittelstandsfähiges Konzept für die Anwendung der WAAM-Technologie zur effizienten Herstellung von endkonturnahen metallischen Strukturen nach höchsten Qualitätsstandards.

Neben einer hohen Flexibilität sind hierbei besonders die Vorteile der Digitalisierung durch die Verwendung offener und trotzdem maßgeschneiderter Softwarelösungen

für einen hochdynamischen Fertigungsprozess zu nennen.

Das WAAM-Verfahren war somit rückblickend ein wesentlicher Enabler für die fortschreitende Digitalisierung des gesamten Unternehmens. Aktuell werden in weiteren Innovationsprojekten die Lücken zwischen bestehenden digitalen Inseln geschlossen und in eine durchgängige IT-Landschaft implementiert. So arbeitet das Digitalisierungsteam bei HEGGEMANN intensiv an der Verbindung der Daten aus der Fertigung mit den standardisierten und etablierten Softwarelösungen (z.B. ERP, MES, PDM), um auch die im Projektgeschäft herausfordernde volatile Fertigungsplanung, den Materialfluss oder auch die Durchlaufzeiten weiter zu optimieren.

### Über HEGGEMANN

1962 als „Luftfahrttechnischer Betrieb“ gegründet hat sich HEGGEMANN als Spezialist für anspruchsvolle metallische Leichtbaukomponenten der Luft- und Raumfahrtindustrie etabliert. Gemäß dem Unternehmensmotto „360° - from Engineering to Production“ realisieren ca. 240 Mitarbeiter für Kunden die komplette Wertschöpfungskette von der Entwicklung und Qualifizierung über die Serienreifmachung und Industrialisierung bis zur effizienten Serienproduktion einbaufertiger Strukturen und Systeme.

## Ihr Kontakt

### Dr. Thomas Meyer

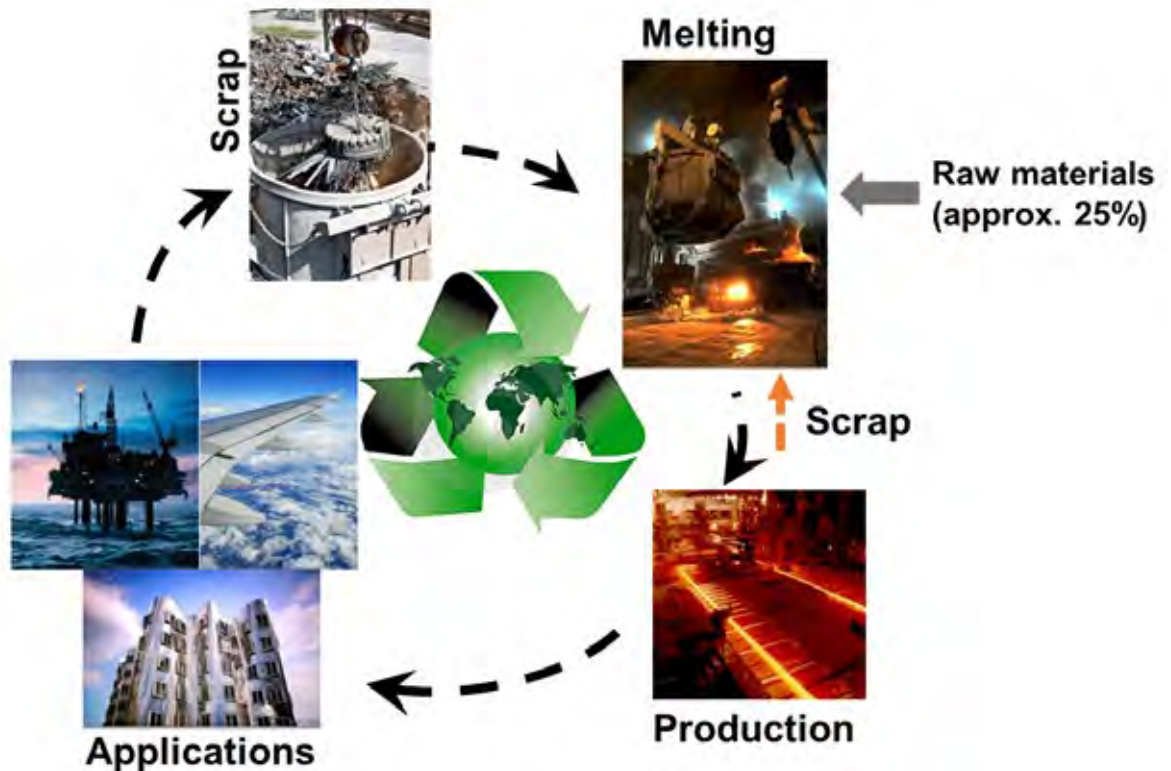
Head of Engineering  
HEGGEMANN AG

+49 2955 7610 207  
meyer@heggemann.com

[www.heggemann.com](http://www.heggemann.com)



Robotergeführte WAAM-Anlage (6 + 2 Achsen) mit Schutzgaszelt und angeschlossener Sensorik zur Prozessüberwachung.

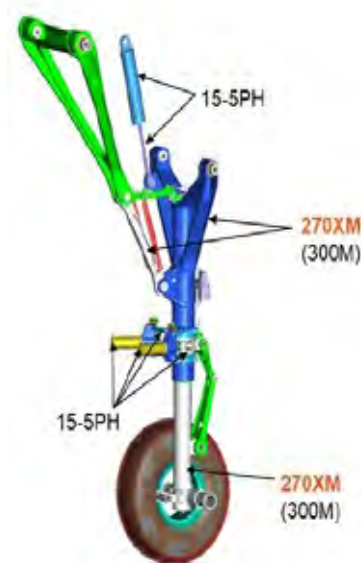


# Neuer hochfester martensitischer nichtrostender Stahl für Luftfahrtanwendungen

Der neue hochfeste martensitische nichtrostende Stahl 1.4488 (Aerodur 270XM) ist aufgrund seiner hohen mechanischen Festigkeit und seiner guten Korrosionseigenschaften ein vielversprechender Ersatz für beschichtete ultrahochfeste Stähle. Zudem lässt sich Aerodur 270XM nahezu vollständig recyceln.

Die technologischen Fortschritte auf dem Markt für Luft- und Raumfahrtmaterialien treiben die Innovation weiter voran. Dazu gehört die Entwicklung fortschrittlicher Materialien und Legierungen mit verbessertem Verhältnis von Festigkeit zu Gewicht, Widerstandsfähigkeit gegenüber extremen Bedingungen, längerer Lebensdauer sowie geringem Einfluss auf Wartungs- und Flugzeugbetriebskosten. Zusätzliche sind „grüne“ Komponenten, die umweltfreundlich sind, notwendig.

Flugzeugfahrwerke und -teile unterliegen strengen Leistungsanforderungen, da sie starken Belastungen und korrosiven Umgebungen ausgesetzt sind. Ultrahochfeste Stähle wie 4340 und 300M bieten nur eine sehr begrenzte Korrosionsbeständigkeit, während ausscheidungshärtende Stähle wie 17-4PH (1.4542) und 15-4PH (1.4545) zwar eine höhere Korrosionsbeständigkeit, aber eine zu geringe Festigkeit aufweisen.



Ultrahochfeste Stähle werden üblicherweise mit Cadmium und/oder Chrom beschichtet, um sie gegen korrosiven Umgebungseinfluss zu schützen. Cadmium ist ein toxisches Schwermetall, und nachweislich karzinogen. Die Freisetzung von Cadmium in die Umwelt hat Auswirkungen auf Menschen und Umwelt. Es reichert sich im Boden und in Seen an,

wodurch es Meereslebewesen und Pflanzen schädigt und in die Nahrungskette gelangt. Es hat viele schwerwiegende Auswirkungen auf die Gesundheit. Zusätzlich bedeutet

Cd ein erhebliches Umweltrisiko sowohl bei der Teilefertigung als auch bei der Instandsetzung und Reparatureinrichtungen in der Luft- und Raumfahrt. Die hohe Toxizität dieser Cd- und Cr-Beschichtungen ist der Grund für den steigenden Druck von Gesetzgeber und Verbraucher, diese Stoffe in der Luftfahrt zu ersetzen und somit Umwelt- und Gesundheitsrisiken zu senken. Daher stehen sie auf der Liste zur Entfernung gemäß Umweltgesetzen wie REACH (Registration, Evaluation and Authorization of Chemicals) in Europa.

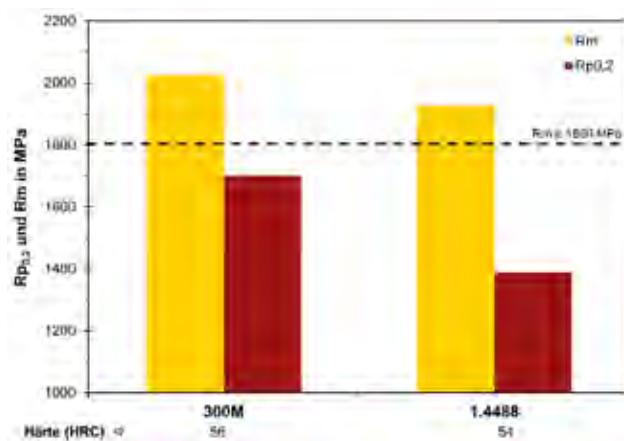
Es wurden verschiedene Lösungen entwickelt, um das Beschichten des 300M zu ersetzen. Nicht-toxische Zink-Nickel-Beschichtungen könnten eine zuverlässige und umweltfreundlichere Lösung auf dem Markt sein. Allerdings sind die Korrosionsprobleme nicht gelöst, wenn diese Beschichtung Risse hat. Zudem könnte Wasserstoffversprödung bei galvanischem Beschichten der vergüteten oder gehärteten Stähle auftreten. Als Ersatz für den 300M wurde ein Cobalt-reicher ultrahochfester korrosionsbeständiger Stahl entwickelt. Obgleich er ähnliche mechanische Eigenschaften wie 300M aufweist, können die Kosten wegen des hohen Co-Gehalts und komplizierter Wärmebehandlung zu hoch sein.

Um neue Lösungen zu schaffen, bedarf es zahlreicher Innovationen. Als Alternative für den hochfesten Vergütungsstahl 300M kann ein hochfester martensitischer Stahl mit vergleichbaren Werkstoffeigenschaften dienen. Dieser hat den Vorteil, dass aufgrund der Legierungslage keine Beschichtung benötigt wird, womit dieser vollständig recyclingfähig ist und geringe Lebenszykluskosten aufweist.

Der neu entwickelte hochfeste martensitische rostfreie Edelstahl 1.4488 (Aerodur 270XM/X37CrNiMoCuV11-4-1) könnte die beschichteten ultrahochfesten Stähle ersetzen. Der 1.4488 ist relativ niedrige legiert martensitischer rostfreier Stahl. Das Legierungssystem hat als Hauptlegierungselemente je 11 Ma.-% Chrom, Nickel sowie ca. 0,37 Ma.-% Kohlenstoff, ohne Cobalt. Der neu entwickelte Werkstoff wurde durch konventionelle Stahlerzeugungsverfahren (Elektrolichtbogenofen + Vakuumumschmelzen + Warmumformung) hergestellt. Nach einer optimalen Wärmebehandlung zeigt der 1.4488 eine Härte von mehr als 52 HRC und die mechanischen Eigenschaften liegen bei einer Dehngrenze von  $R_{p0,2} \geq 1300$  MPa, einer Zugfestigkeit von  $R_m \geq 1800$  MPa und einer Zähigkeit von  $KV > 18$  J. Diese Werte erfüllen die Anforderungen des bisher eingesetzten Stahls

300M und liegen höher als diejenigen des Stahls 17-4PH.

Der neue hochfeste martensitische nichtrostende Stahl, 1.4488 (Aerodur 270XM), ist aufgrund seiner hohen mechanischen Festigkeit und guten Korrosionseigenschaften ein vielversprechender Ersatz für beschichtete ultrahochfeste Stähle. Er eröffnet die Möglichkeit, durch das Einsparen der Beschichtung fast vollständig recyclingfähig zu sein und somit die Lebenszykluskosten zu verringern. Außerdem ist 1.4488 relativ niedrige legiert, was ihn zu einer wirtschaftlichen Lösung macht.



Mechanische Eigenschaften des Stahls 1.4488

### Über Swiss Steel Group

Die Swiss Steel Group, aktueller Sieger des Deutschen Nachhaltigkeitspreises, ist einer der führenden Anbieter individueller Lösungen im Bereich Spezialstahl-Langprodukte weltweit. Sowohl bei Werkzeugstahl als auch bei rostfreiem Langstahl zählt der Konzern zu den weltweit führenden Herstellern und gehört zu den grössten Unternehmen in Europa für legierten und hochlegierten Edelbaustahl. Die Swiss Steel Group ist in Europa eines der marktführenden Unternehmen im Green Steel Bereich und eines der ganz wenigen, die heute schon Green Steel liefern können, der einen um bis zu 94% geringeren CO<sub>2</sub> Fußabdruck hat, als der World Average der Stahlherstellung.

### Ihr Kontakt

**Dr.-Ing. Clara Herrera**

T-TQ-Entwicklung - RSH  
Swiss Steel Group

clara.herrera@  
swisssteelgroup.com

**www.swisssteel-group.com**



# Gewichtseinsparung im A321 Frachtraum: Innovative 3D-gedruckte Polymerbauteile optimieren Eurowings Modifikationsprogramm

Im Fokus dieses Artikels steht die wegweisende Partnerschaft zwischen The Aviation AM Centre und Eurowings, welche zur Entwicklung und Bereitstellung von leichtgewichtigen 3D-gedruckten Polymerbauteilen führte. Diese zertifizierten Komponenten haben das Modifikationsprogramm für den A321 optimiert, eine beeindruckende Gewichtseinsparung von 7,7 kg pro Flugzeug erzielt und tragen somit zur Treibstoffeffizienz und Nachhaltigkeit der Luftfahrtindustrie bei.

Das Aviation AM Centre, ein von der EASA zugelassener Part-21/G-Produktionsbetrieb für 3D-gedruckte Flugzeugteile mit Sitz in Düsseldorf, hat erfolgreich die zweite Charge additiv gefertigter Polymerkomponenten an Eurowings geliefert. Diese speziell für das A321-Modifikationsprogramm entwickelten und zertifizierten Teile werden von den Eurowings-Wartungspartnern in Perpignan und Düsseldorf eingesetzt, um das modifizierte Cargo-Loading-System von sechs A321-Flugzeugen zu komplementieren. Dabei wurden herkömmliche Ball Unit Plugs aus Metall durch maßgefertigte, gewichtsoptimierte Einheiten aus Polymer ersetzt, welche nicht nur das Gewicht reduzieren, sondern auch eine effiziente Abdeckung der entstandenen Öffnungen im Boden des Cargobereichs ermöglichen.

Ein bemerkenswerter Aspekt dieses Projekts ist die Gewichtsreduktion, die durch den Einsatz der maß-

gefertigten Polymerbauteile erreicht wurde. Während die ursprünglichen Metallkomponenten 64g wogen, erzielen die neuen Abdeckkappen aus Polymer lediglich ein Gewicht von 8g. Bei insgesamt 138 Einheiten summiert sich die Differenz von 56g pro Ball Unit auf eine beeindruckende Gewichtseinsparung von 7,7 kg pro Flugzeug.

Die Ball Unit Plugs komplementieren damit als leichtgewichtige Lösung die Modifikation im Cargo-Bereich des A321. Ihre innovative Form und die additive Fertigung ermöglichen eine nahtlose Integration in das Flugzeug und tragen dazu bei, den Treibstoffverbrauch zu reduzieren und die Nachhaltigkeit in der Luftfahrt zu fördern.

Besonders hervorzuheben ist die schnelle Herstellung der Ball Unit Plugs durch das AAMC Dank des Einsatzes modernster industrieller EOS Additive Manufacturing-

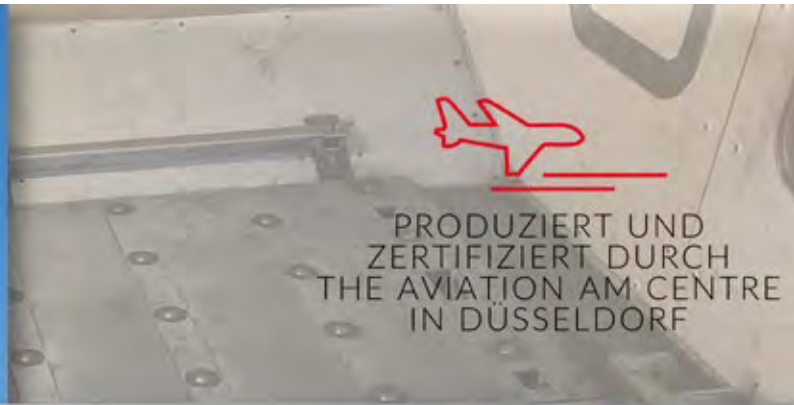


## KOOPERATION MIT EUROWINGS

A321 Cargo Area – Ball Unit Plug



Source: Eurowings



Neue  
Ball Unit Plugs  
produziert mit  
Additive Manufacturing  
aus Polymer



Ersatz der  
metallischen  
Ball Unit Plugs



Neue Eigenschaften  
Optimierte Funktion  
Leichtgewicht Design

Technologie konnten die maßgefertigten Modifikationskits innerhalb von nur 5 Tagen geliefert werden. Agile Produktionsabläufe ermöglichen eine reibungslose Umsetzung des Modifikationsprogramms von Eurowings und unterstreichen die Flexibilität der genutzten AM-Fertigungstechnologie.

Die Herstellung der Bauteile an dezentralen zugelassenen Produktionszellen in Wartungsbetrieben oder Airlines ist ein Alleinstellungsmerkmal des AAMC. In diesem Fall wurden die Komponenten direkt an die Wartungspartner von Eurowings in Perpignan und Düsseldorf geliefert, was Transportzeiten minimiert und eine flexible Integration der Bauteile in die Flugzeugflotte ermöglicht.

Das AAMC sieht mit Stolz auf diese erfolgreiche Zusammenarbeit mit Eurowings und arbeitet bereits an weiteren zukunftsweisenden Entwicklungen zur Effizienzsteigerung in der sich stetig wandelnden Luftfahrtindustrie.

### Über The Aviation AM Centre

The Aviation AM Centre ist ein vom Luftfahrtbundesamt EASA Part-21/G-zertifizierter Herstellungsbetrieb mit Sitz in Düsseldorf, der Flugzeugbauteile mit EASA Form 1

unter Verwendung der neuesten Additive Manufacturing Technologie herstellt. AAMC bietet auch zertifizierte AM-Produktionszellen als End-to-End-Lösungen an, die es Fluggesellschaften, Wartungsbetrieben und AM-Dienstleistern ermöglichen, Luftfahrtbauteile im eigenen Haus zu produzieren. The Aviation AM Centre bietet Reverse-Engineering- und Bauteilzertifizierungsdienstleistungen an, und beteiligt sich an mehreren staatlich finanzierten Luftfahrtforschungsprogrammen.

Die Erweiterung des Partnernetzwerks ist ein primäres Ziel der AAMC. Interessierte Firmen können sich hierzu gerne über das Aero.NRW Netzwerk oder direkt am interlegten Kontakt melden. ■

## Ihr Kontakt

**Steffen Hohenstein**

Manager Production von  
THE AVIATION AM CENTRE

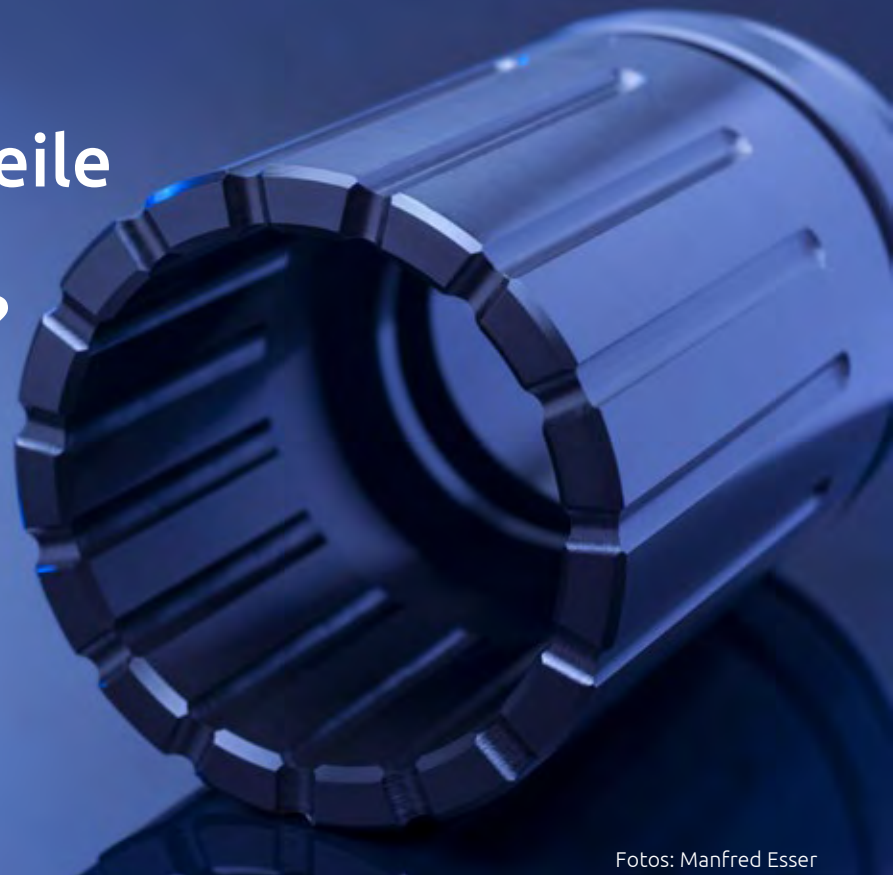
shohenstein@aviation-am.com

[www.aviation-am.com](http://www.aviation-am.com)



# Mechanisch bearbeitete Bauteile aus Kunststoff - Sinn oder Unsinn?

Die spangebende Fertigung von Kunststoffbauteilen führt im Vergleich zum Spritzguss meist zu deutlich höheren Stückkosten. Die Kunststoffzerspanung bietet allerdings auch deutliche technische Vorteile, die ihren Einsatz sinnvoll, teilweise sogar notwendig macht!



Fotos: Manfred Esser

Die Anwendung von Kunststoffen hat sich in den letzten Jahrzehnten deutlich verändert! Heute lassen sich komplexeste Bauteile in großer Stückzahl im Spritzguss herstellen. Einzelteile können auch über verschiedene generative Fertigungsverfahren (FLM, PJM, SLS e.a.) wirtschaftlich gefertigt werden.

Insofern ist die Frage nach dem wirtschaftlichen und technischen Sinn, Kunststoffbauteile spangebend zu fertigen, durchaus berechtigt! Dennoch werden auch in der Luftfahrtindustrie immer häufiger gedrehte und/oder gefräste Kunststoffbauteile eingesetzt! Woran liegt das?

Generative Verfahren bieten interessante Gestaltungsmöglichkeiten, haben aber Einschränkungen bei der Materialauswahl! In aller Regel können nur für die einzelnen Verfahren geeignete Kunststoff-Typen eingesetzt werden. Die Baugröße der Bauteile ist immer auf den Fertigungsraum der jeweiligen Anlage begrenzt und Festigkeit und Elastizität, beeinflusst durch den meist schichtweisen Aufbau der Bauteile, erreichen, insbesondere bei fortgesetzter mechanischer Belastung, derzeit (noch) nicht die geforderte Funktionssicherheit.

Spitzguss hingegen ist ein kostengünstiges und erprobtes Verfahren zur Herstellung von Bauteilen in Großserie. Dies liegt insbesondere an dem geringen Materialverlust; selbst die anfallenden Angüsse können in den Prozess

zurückgeführt werden. Allerdings werden für dieses Verfahren mehr oder weniger aufwendige Werkzeuge benötigt, die nicht selten mehrere zehn bis über hunderttausend Euro kosten. Formänderungen sind bisweilen aufwendig und damit zeit- und kostenintensiv. Folglich müssen die Kosten durch entsprechende Stückzahlen aufgefangen werden. Mit spangebenden Verfahren hingegen können selbst Einzelteile ohne zusätzliche Formkosten umgesetzt werden.

## Technische Gründe sprechen für die spangebende Fertigung

Manche Kunststoffe lassen sich aufgrund ihres Aufbaus weder thermoplastisch noch additiv verarbeiten. Typische Vertreter sind z.B. das medienresistente Polytetrafluorethylen (PTFE), das besonders abriebfeste, höchstmolekulare Polyethylen (PE-UHMW) oder die temperaturbeständigen Polyimide. Solche Kunststoffe werden häufig in Press-Sinter-Verfahren verarbeitet. Das bedingt jedoch Geometrie-Einschränkungen bei der Formgebung und die mechanischen Eigenschaften direkt geformter Bauteile sind teils bis zu 20% schlechter als die der spangebend, aus Halbzeug gefertigten Teile.

Darüber hinaus zeigen spangebend hergestellte Kunststoffbauteile meist bessere mechanische Eigenschaften als ihre spritzgegossenen oder gedruckten Derivate. Versuche an geometrisch identischen Gleitlagern zeigen, dass bei gleicher Materialbasis, spangebend hergestellte

Bauteile eine höhere Verschleißfestigkeit und damit eine bessere Lebensdauer als im Spritzguss hergestellte Lager aufweisen. Sowohl der Spritzguss als auch bestimmte additive Verfahren stellen Anforderungen an die Fließfähigkeit. Die Kunststoffe müssen leicht und schnell fließen können, die Viskosität darf nicht zu hoch sein! Bei der Extrusion von Halbzeugen hingegen braucht man hochviskose, langsam fließende Materialqualitäten. Mit dem höheren Molekulargewicht der hochviskosen Typen verbessern sich viele der mechanischen Eigenschaften. Dieser Zusammenhang gilt für fast alle Kunststoffe, so dass spangebend, aus Halbzeug hergestellte Bauteile meist bessere mechanische Eigenschaften aufweisen. Zusätzlich weisen gedruckte oder gespritzte Teile i.d.R. so genannte Bindenähte auf, die bei hoher Belastung potenzielle Bruchstellen bedeuten.

### Höhere Form- und Maßstabilität im Vergleich zum Spritzguss

Unter Temperatur verarbeitete Produkte schrumpfen mehr oder weniger stark, wenn sie erkalten. Dieses Phänomen kann zu erheblichen Toleranzproblemen führen! Darüber hinaus richten sich beim Spritzguss, abhängig von Länge und Querschnitt des Fließweges, Molekülketten in Spritzrichtung mehr oder weniger stark aus. In Richtung dieser Orientierung schwindet der Kunststoff aber stärker als quer dazu. Im ungünstigsten Fall verstärkt sich dadurch nicht nur das Toleranzproblem, sondern auch die Verzugsneigung des Bauteils. Bei der spangebenden Fertigung wirken auch thermische Einflüsse und Materialspannungen werden freigesetzt, aber der bearbeitete Kunststoff schwindet nach der Bearbeitung in aller Regel nicht und der Verzugsneigung kann durch Bearbeitungspausen und/oder thermische Zwischenbehandlung entgegengewirkt werden. Mit entsprechender Expertise und abhängig vom Material können bei der Kunststoff-Zerspanung engste Toleranzen eingehalten werden!

Das Spritzguss-Verfahren verlangt ein vom Material abhängiges Fließweg-/Dicken-Verhältnis. Große Wandstärken bzw. Materialanhäufungen führen aber fast zwangsläufig zu Einfallstellen und müssen daher durch das Anbringen von Rippen verstärkt werden. Dies erhöht Konstruktionsaufwand und Werkzeugkosten. Mit der spangebenden Fertigung können, entsprechendes Halbzeug vorausgesetzt, selbst Bauteile mit extremen Wandstärken gefertigt werden.

Es wird deutlich, dass es über rein wirtschaftliche Überlegungen hinaus gute Gründe gibt, technische Kunststoffbauteile auch spangebend herzustellen. Entscheidend aber ist dabei vor allem, dass man für die spangebende Fertigung einen erfahrenen Bearbeitungsbetrieb auswählt.



### Über POLYTRON Kunststofftechnik GmbH & Co. KG

Die POLYTRON Kunststofftechnik GmbH & Co. KG ist einer der führenden europäischen Hersteller von spangebend hergestellten technischen Bauteilen aus Sonder- und Hochleistungs- Kunststoffen. Seit 1961 entwickelt und fertigt das Unternehmen aus Bergisch Gladbach bei Köln zusammen mit seinen Kunden Bauteile und Systeme aus so genannten Hochleistungs- Kunststoffen in unterschiedlichen Stückzahlen, in Kleinserien sowie als Einzelstücke. Die verwendeten Kunststoffe können zum Teil Temperaturen von unter minus 200 bis über plus 300°C, extreme mechanische Belastungen und dauerhaften chemischen Angriff aushalten. Die Bauteile werden unter anderem in den Maschinen der Lebensmittel- und Verpackungstechnik, in der Luft- und Raumfahrttechnik oder in anderen Bereichen des allgemeinen Maschinen- und Anlagenbaus eingesetzt.

Die produzierten Bauteile werden in über 40 Länder dieser Erde exportiert und wirken oft genug in Konstruktionen am Rande des technisch Machbaren. ■

## Ihr Kontakt

### Fred Arnulf Busen

Geschäftsführender  
Gesellschafter POLYTRON  
Kunststofftechnik GmbH &  
Co. KG

busen@polytron-gmbh.de

[www.polytron-gmbh.de](http://www.polytron-gmbh.de)



# Materialinnovation in der Luft- und Raumfahrt



In der Luft- und Raumfahrtindustrie spielen Materialinnovationen eine entscheidende Rolle. Silikone sind integraler Bestandteil bei der Montage und im Betrieb von Flugzeugen und Raumfahrzeugen weltweit. Diese hochspezialisierten Produkte bieten nicht nur Langzeitstabilität über einen weiten Temperaturbereich, sondern auch eine dauerhafte Flexibilität, Haftung und Abdichtung. Momentive unterstützt die Luft- und Raumfahrtindustrie, durch nachhaltige Materialentwicklung im Bereich von raumtemperatur-vernetzenden Silikonen.

Die Luft- und Raumfahrtindustrie in NRW profitiert von der Präsenz hoch spezialisierter Unternehmen wie Momentive Performance Materials. Das global agierende Unternehmen mit Deutschland-Sitz in Leverkusen ist einer der größten Hersteller von Silikon und Silikon-Derivaten weltweit und hat eine lange Geschichte in der Unterstützung der Luft- und Raumfahrtindustrie. Unsere Produkte finden sich in Flugzeugen und Raumfahrzeugen weltweit wieder – von den Stiefeln des ersten Menschen auf dem Mond, zu den Fensterdichtungen der Mercury und Apollo-Raumkapseln bis zu den neuen Artemis Mondmissionen. Unser engagiertes Luft- und Raumfahrt-Team nutzt seine umfangreiche Erfahrung, aus Tausenden von Flugstunden und besteht aus sehr erfahrenen Chemikern und Anwendungsentwicklern sowie einem Netzwerk aus globalen Entwicklungszentren.

## **Silikone erfüllen die anspruchsvollen Anforderungen Luft und Raumfahrtindustrie**

Silikone spielen eine entscheidende Rolle in der Luft und Raumfahrtindustrie und werden vielseitig eingesetzt, um die anspruchsvollen Anforderungen dieser Branche zu erfüllen. Silikonprodukte bieten eine breite Palette von Eigenschaften, die in verschiedenen Anwendungen zum Tragen kommen:

### **Langzeitstabilität über einen weiten Temperaturbereich:**

Silikone sind in der Lage, extremen Temperaturen standzuhalten, sei es bei extremen Kältebedingungen in der Stratosphäre oder den hohen Temperaturen während des Wiedereintritts in die Erdatmosphäre. Dies ist entscheidend für den Einsatz in z.B. Flugzeugtriebwerken.

### **Dauerhafte Flexibilität, Haftung und Abdichtung:**

Silikone bieten Flexibilität und Elastizität, was sie ideal für Dichtungsanwendungen macht. Sie können sich den Bewegungen und Vibrationen der Flugzeugteile anpassen und bieten eine zuverlässige Abdichtung gegen Feuchtigkeit und Druckunterschiede.

### **Schutzdichtungen gegen Staub, Nässe und Feuchtigkeit:**

Silikone werden in Dichtungen verwendet, um kritische elektronische und mechanische Komponenten vor Umwelteinflüssen wie Staub, Nässe und Feuchtigkeit zu schützen.

### **Kraftstoff- und Lösungsmittelbeständigkeit:**

Spezielle Silikone sind resistent gegenüber verschiedenen Chemikalien, einschließlich Kraftstoffen und Hydraulikflüssigkeiten, was sie für den Einsatz in Treibstoffsystemen und anderen kritischen Komponenten eignet.



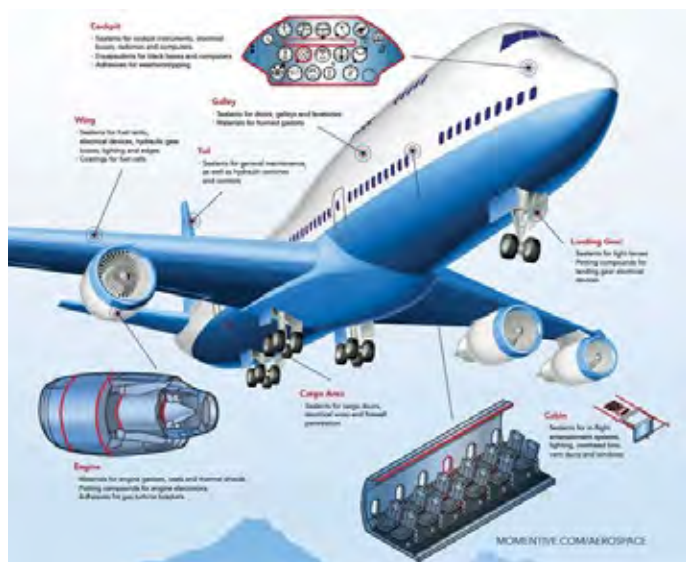
### Elektrische Isolierung kritischer elektronischer Bauteile:

Silikone dienen als zuverlässige elektrische Isolatoren und schützen elektronische Bauteile vor Feuchtigkeit und anderen Umwelteinflüssen.

**Hitzeschutz für Sensoren und Startsysteme:** In der Luftfahrt werden Silikonbeschichtungen und -isolierungen in Hochtemperaturumgebungen eingesetzt, um empfindliche Sensoren und Startsysteme vor extremen Temperaturen zu schützen.

**Lösungen für geringe Ausgasung zum Schutz von optischen Bauteilen, Solaranlagen, Bordelektronik und Flugbesatzungsräumen:** Spezialsilikone haben eine extrem geringe Ausgasung von flüchtigen Bestandteilen im Vakuum des Weltalls, was besonders wichtig ist, um optische Bauteile, Solaranlagen, Bordelektronik und Flugbesatzungsräume zu schützen.

**Beschichtungen für Kabinendächer von Flugzeugen und Hubschraubern, Außenleuchten und Sensorabdeckungen:** Silikonbeschichtungen werden verwendet, um Oberflächen zu schützen, die extremen Wetterbedingungen und UV-Strahlung ausgesetzt sind.



Anwendungsbereiche von Silikonprodukten in der Luftfahrt

Die Vielseitigkeit und Zuverlässigkeit von Silikonprodukten spielen eine entscheidende Rolle in der Sicherheit, Effizienz und Langlebigkeit von Luftfahrzeugen und tragen zur Weiterentwicklung der Luft- und Raumfahrtindustrie bei.

### Entwicklung an nachhaltigeren Silikonprodukten

Ein aktuelles und wegweisendes Projekt von Momentive Performance Materials reagiert auf EU-Regulierung von cyclischen Siloxanen wie Octamethylcyclotetrasiloxan (D4), Decamethylcyclopentasiloxan (D5) und Dodecamethylcyclohexasiloxan (D6) die bei der Herstellung der Polymere eine Rolle spielen, sowie einigen Zinnverbindungen als CMR-Stoffe (krebserzeugend, mutagen- und fortpflanzungsgefährdend), die in der Branche als Katalysatoren für die Härtung bzw. Vernetzung von Silikon eingesetzt werden.

Das Projekt hat das Ziel, die Verunreinigung von D4-6 in unseren Produkten zu reduzieren. D4-D6 sind Ausgangsstoffe zur Herstellung unserer Polymere und werden teilweise auch zur Füllstoffbehandlung eingesetzt. Sowohl die Polymere als auch die Füllstoffe sind wichtige Bestandteile für das spätere Silikonprodukt, insbesondere werden hierdurch die mechanischen Eigenschaften optimiert. Um nun den Anteil der cyclischen Siloxane im Endprodukt zu reduzieren haben wir zum einem die Füllstoffbehandlung optimiert und angepasst und zum anderen das Stripping der Polymere optimiert. In Versuchen konnten wir dadurch bereits das D4 um beeindruckende 95-99% reduzieren, bei gleichbleibender Performance des Materials.

Darüber hinaus forschen wir an umweltfreundliche Alternativen um Zinnverbindungen zu ersetzen. Zahlreiche Katalysatoren wurden getestet, wobei sich nicht-toxische Eisenverbindungen und organische Basen als äußerst erfolgreich erwiesen haben. Diese Alternativen erfüllen nicht nur die strengen Anforderungen der Luft- und Raumfahrt, sondern tragen auch zur Nachhaltigkeit und Sicherheit der Produkte, sowie deren Anwender bei. ■

## Ihr Kontakt


**Dr. Maximilian Dueser**

Advanced Scientist  
im Bereich Aerospace  
Momentive

maximilian.dueser@  
momentive.com

**www.momentive.com**





# 3D-Druck von Multimaterialien für die Raumfahrt

**Gewichtseinsparungen sind in der Raumfahrt von entscheidender Bedeutung, da sie die Kosten für den Transport von Nutzlasten in den Weltraum erheblich reduzieren. Mit 3D-Druck aus Multimaterialien können komplexe Strukturen erstellt werden, die leichter und dennoch robust genug sind, um den extremen Belastungen im Weltraum standzuhalten. Im Rahmen des EU-Projektes „MADE-3D“ entwickelt SKYRORA in enger Kooperation mit der Universität Paderborn und weiteren europäischen Partnern eine Technologie zur additiven Fertigung mittels Direct Energy Deposition (DED) von Komponenten aus Nickelbasis- und Titanlegierungen.**

DED 3D-Druck im SKYPRINT 2

Nickelbasislegierungen und Titanlegierungen gehören zu den am häufigsten verwendeten Hochtemperaturwerkstoffen in der Luft- und Raumfahrt. Aufgrund ihrer verringerten Festigkeitseigenschaften bei Temperaturen über 450 °C ist die Verwendung von Titanlegierungen auf Triebwerkskomponenten beschränkt, die in Niedertemperaturbereichen eingesetzt werden. Im Hochtemperaturbereich kommen hingegen Nickelbasislegierungen zum Einsatz, deren ausgewogene mechanische Eigenschaften im polykristallinen Zustand bis zu 900 °C erhalten bleiben. Trotz der besseren Performance von Nickelbasislegierungen bei Hochtemperaturen ist es nicht sinnvoll, ausschließlich diese Werkstoffe für Triebwerkskomponenten zu verwenden, da die Dichte von Nickel etwa doppelt so hoch ist wie die von Titanlegierungen. Die optimale Technik zur Herstellung einer leichten Trägerrakete besteht darin, diese Werkstoffe je nach den thermischen Bedingungen in den verschiedenen Strukturbereichen zu kombinieren.

Die effizienteste Technologie zur Herstellung von Komponenten aus wertvollen Werkstoffen wie Nickelbasis- und Titanlegierungen unter Berücksichtigung von Energieeinsparungen, Produktionszeiten und Ressourceneffizienz ist die additive Fertigung. Allerdings gestaltet sich das direkte thermische Fügen von Nickelbasis- und Titanlegierungen mithilfe von laserbasierten

Verfahren aufgrund der Bildung von spröden intermetallischen Phasen (IMP) in der Interdiffusionszone problematisch. Die Entstehung von IMP führt zu einer erheblichen Abnahme der statischen und dynamischen Festigkeit der Verbindungszone im Vergleich zu den Eigenschaften der Ausgangsmaterialien.

Da die direkte Verbindung von Nickelbasis- und Titanlegierungen in den herkömmlichen laserbasierten additiven Fertigungsverfahren wie der Direct Energy Deposition (DED) oder dem selektiven Laserschmelzen nicht möglich ist, ohne dass sich spröde intermetallische Phasen (IMP) bilden, wird vorgeschlagen, dünne Zwischenschichten aus anderen Metallen einzubringen. Diese Metalle sollten in Kombination mit den angrenzenden, unterschiedlichen Materialien keine spröden Verbindungen bilden.

Im Rahmen des Projekts "MADE-3D", das im "Horizon Europe 2022"-Programm der Europäischen Union gefördert wird, erfolgt eine rechnergestützte Anpassung der chemischen Zusammensetzung von Zwischenschichtwerkstoffen mit dem Ziel, ihre Leistungsfähigkeit bei Temperaturen bis 450 °C zu verbessern. Dies soll erreicht werden, um die geforderten physikalischen und mechanischen Eigenschaften eines Multimaterials auf Basis der Nickelbasislegierung Inconel 718 und der

Titanlegierung Ti-6Al-4V zu erreichen. Die Parameter des 3D-Drucks, wie beispielsweise die Dicke und die Zusammensetzung der Zwischenschichten, werden experimentell und computergestützt optimiert, um das erforderliche Niveau der mechanischen Eigenschaften des Multimaterials bei Betriebstemperaturen und möglichst geringem Gewicht sicherzustellen. Die additive Fertigung erfolgt mithilfe eigens entwickelter 3D-Drucker, nämlich SKYPRINT 1 und SKYPRINT 2.

Der experimentelle Ansatz beinhaltet eine kontinuierliche Steigerung der Komplexität von 3D-gedruckten Multi-materialbauteilen. Angefangen bei Probenkörpern für die Porositätsanalyse bis hin zu Zug- und Haftzugproben für mechanische Tests, wird am Ende des Projekts eine Komponente des Raketentriebwerks entwickelt. Konkret handelt es sich um die Auslassdüse des 3,5 kN Triebwerks LEO, das die dritte Stufe der SKYRORA XL Trägerrakete antreibt. Die SKYRORA XL ist eine dreistufige leichte Trägerrakete, die Nutzlasten mit einem Gewicht von bis zu 315 kg in eine sonnensynchrone Umlaufbahn in Höhen von 500 km bis 1000 km befördern soll. Das Triebwerk LEO ist für die Positionierung der Satelliten in ihren Umlaufbahnen verantwortlich und verfügt über ein Mehrfachzündungssystem. Aus diesem Grund ist geplant, dass das Triebwerk mit einer Auslassdüse im Multi-materialdesign bis zum Projektende im Jahr 2026 mindestens zehn erfolgreiche Feuertests abschließen wird.

#### **Die Anwendung des Multi-Material-Designs wird folgende Vorteile bieten:**

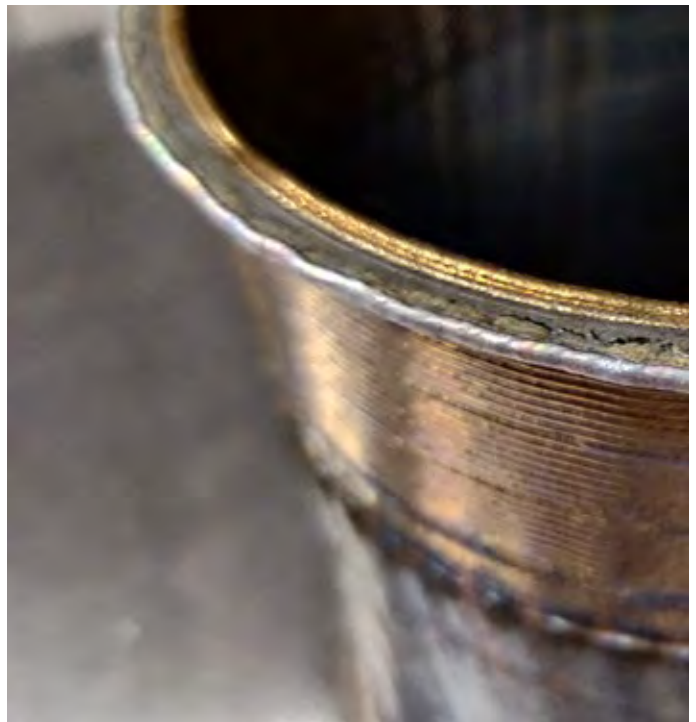
Eine Gewichtsreduzierung von 50 % bei den Strukturelementen der Trägerrakete, die bei Temperaturen unter 450 °C arbeiten, da Inconel 718 durch die Titanlegierung Ti-6Al-4V ersetzt wird. Das Schlüsselement dieser Baugruppe ist die Auslassdüse, die im DED-3D-Druckverfahren als Multimaterialteil aus einer Superlegierung auf Nickelbasis und einer Titanlegierung hergestellt wird.

Es wird erwartet, dass die Zwischenschichten die thermische Zugspannung im Bauteil bei Betriebstemperaturen um etwa 30 % reduzieren.

Die Verwendung der Ti-Basislegierung bei Temperaturen unter 450 °C ermöglicht eine um ca. 35 % höhere spezifische Festigkeit der Komponente.

Es wird deutlich, dass es über rein wirtschaftliche Überlegungen hinaus gute Gründe gibt, technische Kunststoffbauteile auch spangebend herzustellen. Entscheidend

aber ist dabei vor allem, dass man für die spangebende Fertigung einen erfahrenen Bearbeitungsbetrieb auswählt.



Nickelbasislegierung-Titanlegierung-Verbindung hergestellt mittels DED im SKYPRINT 1

#### **Über SKYRORA**

SKYRORA, mit Hauptsitz in Schottland und Niederlassungen in ganz Europa, u.a. in Paderborn in Nordrhein-Westfalen, entwickelt, fertigt und betreibt Trägerraketen für Kleinsatellitenhersteller, die Zugang zum Weltraum suchen. Die Strategie von SKYRORA folgt einem schrittweisen Ansatz, der kritische Tests und Risikominderung ermöglicht, wobei bewährte Technologien in Kombination mit innovativen additiven Fertigungsverfahren eingesetzt werden. Nach einer Kofinanzierung in Höhe von 3 Millionen Euro durch die Europäische Weltraumorganisation (ESA) im Rahmen des ESA Boost! Programms ist SKYRORA auf dem besten Weg, das erste britische Unternehmen zu werden, das Satelliten vom Vereinigten Königreich aus vertikal startet. ■

## **Ihr Kontakt**

### **Olexandr Grydin**

Geschäftsführer SKYRORA GmbH

olexandr.grydin@skyrora.com

[www.skyrora.com](http://www.skyrora.com)





# Kristalle für die Satellitennavigation

Gezündeter Plasmaantrieb: Das ausgestoßene Antriebsplasma (heller weißer Ring) erzeugt den Vorschub. Ein Lanthanhexaborid Einkristall in der Kathode oberhalb davon emittiert Elektronen zur Neutralisierung des Ionenstroms (lila Schimmer). Credits: Safran Spacecraft Propulsion

**Einkristalle – Materialien, bei denen Atome perfekt in einem regelmäßigen Gitter angeordnet sind – tragen in Plasmaantrieben dazu bei, dass Raumsonden weit entfernte Planeten erreichen und Satelliten ihre Position in der Erdumlaufbahn halten. Das Unternehmen Mateck aus Jülich stellt diese anspruchsvollen Materialien für den Einsatz im Weltall her.**

Plasmaantriebe sind aus der Raumfahrt nicht mehr wegzudenken. Insbesondere bei der Orbitpositionierung und Positionskorrektur von Satelliten sowie beim Zurücklegen weiter Entfernungen im Weltall spielen sie ihre Stärken aus: im Vergleich mit konventionellen chemischen Antrieben (dem Verbrennen von mitgeführtem Treibstoff) erreichen sie zwar weniger Vorschub, können diesen aber über einen viel längeren Zeitraum erzeugen. Dazu benötigen sie eine geringe Menge eines mitgeführten Gases sowie Strom, der durch Solarmodule im All erzeugt wird. Zum Vergleich: 2007 nahm die Raumsonde Dawn auf ihre Reise zum Zwergplaneten Ceres 425kg Xenon mit, chemische Antriebe hätten dafür die etwa zehnfache Menge benötigt und damit eine wesentlich stärkere und teurere Startrakete.

Die Erzeugung des Vorschubs beruht auf der Ionisation der Gasatome und Beschleunigung der positiv geladenen Teilchen aus dem Antrieb heraus. Da ein Plasmaantrieb elektrisch geladene Teilchen ausstößt, würde sich ein Satellit mit der Zeit aufladen. Was bei älteren Röhrenfernsehern zu Staubansammlung auf der Mattscheibe führt, wird im Weltall zum Problem: durch die elektrische Aufladung sammeln sich im Weltall vorhandene Partikel auf dem Satelliten und insbesondere den Solarmodulen an und reduzieren dadurch die produzierte Energie. Der Kathode des Antriebs kommt daher eine doppelte Bedeutung zu: Neben der Erzeugung des Plasmas für den Vortrieb stößt sie Elektronen aus, mit denen die Ladung der positiv geladenen Ionen im Plasma kompensiert wird. Der Satellit bleibt dadurch elektrisch neutral.



Lanthanhexaborid Einkristalle unterschiedlicher Dimensionen. Credits: MaTeCK GmbH

### Lanthanhexaborid als geeignetes Material

Die Anforderungen an das Kathodenmaterial sind hoch: es muss dem Vakuum und niedrigen Temperaturen des Weltalls standhalten, darf bei den hohen Temperaturen während des Betriebes von etwa 1.200°C nicht verdampfen und muss unempfindlich gegenüber dem Plasma des Antriebs sowie darin enthaltenen Verunreinigungen sein. Darüber hinaus muss es eine lange Lebenszeit aufweisen, denn eine Reparatur kommt im Weltall nicht in Frage. Das Material der Wahl für diese Anforderungen sind Lanthanhexaborid ( $\text{LaB}_6$ ) Einkristalle, welche nicht nur die vorgeannten Bedingungen erfüllen, sondern auch eine geringe Austrittsarbeit von nur rund 2.7eV besitzen und somit wenig Energie zur Erzeugung von Elektronen benötigen.

### Herstellung für den Einsatz in Satelliten bei Mateck

Einkristalle zeichnen sich durch eine perfekte regelmäßige Anordnung der Atome aus. Beim Jülicher Unternehmen Mateck werden diese in der sogenannten Kristallzucht meist unter Aufschmelzen eines Vormaterials hergestellt. So wurde auch  $\text{LaB}_6$  für den Einsatz in den PPS@5000 und PPS@1350 Plasmaantrieben des Unternehmens Safran Spacecraft Propulsion bei Mateck qualifiziert. Die Antriebe kamen beispielsweise bei der Raumsonde „SMART-1“ der Europäischen Raumfahrtagentur (ESA) zum Einsatz. Im eigens für die Zucht der Kathodenkristalle entwickelten Verfahren können trotz des hohen Schmelzpunktes oberhalb von 2.500°C einkristalline  $\text{LaB}_6$  Stäbe mit Durchmessern über 5mm und 50mm Länge hergestellt werden. Die Güte der Kristalle wird durch die sogenannte Mosaizität gemessen. Die bei Mateck erreichten Werte von deutlich unter 0.1° im gesamten Volumen sowie Abwesenheit von typischen Kristalldefekten wie Schraubenversetzungen zeugen von der hohen Qualität der Fertigung. Neben dem Einsatz in der Raumfahrt wird das Hightech-Material auch als Kathode in Elektronenmikroskopen verwendet.

### Über Mateck

Mateck besitzt mehr als 30 Jahre Erfahrung in der Herstellung anspruchsvoller Einkristalle und Materialien für den Einsatz in Industrie sowie Forschung und Entwicklung. Durch diverse Zuchtverfahren sowie fundiertes Spezialwissen können kundenspezifische Materialzusammensetzungen, Geometrien und Oberflächenbehandlungen realisiert werden. Darüber hinaus zählt auch die Entwicklung neuer Materialsysteme und Technologien für und mit Kunden zu den Stärken. Die Bandbreite deckt einen großen Teil des Periodensystems ab und reicht von reinen Elementen über Legierungen und Oxide bis hin zu komplexeren Verbindungen wie Formgedächtnis- und Superlegierungen.

## Ihr Kontakt

### Dr. Thomas Fink

Technischer Leiter  
Mateck

[thomas.fink@mateck.de](mailto:thomas.fink@mateck.de)

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



SMART-1 Mondsonde der ESA. In der Mitte des goldenen Kubus sitzt der Plasmaantrieb mit  $\text{LaB}_6$  Einkristall. Credits: ESA

# Ein Luftschiff unter Tage im ALICE Detektor des CERN Forschungszentrum



## Ein Zeppelin fliegt unter Tage im größten Teilchenbeschleuniger der Welt? Was erst absurd klingt, ergibt ein ausgezeichnetes System für die ferngesteuerte Inspektion hochsensibler Anlagen.

Es ist Herbst als eine hochinteressante Email das Windreiter Team erreicht. Das CERN, berühmt für den weltweit größten Teilchenbeschleuniger, fragt an ob Luftschiffe denkbar wären um unterirdische Inspektionen durchzuführen.

Luftschiffe sind historisch gesehen für die Fahrt am freien Himmel gebaut worden. Dort führen sie derzeit ein Nischendasein für Werbung und Sightseeing. Gleichzeitig sind diese Giganten der Lüfte aber sehr effizient und könnten in modernen Varianten einen Beitrag für emissionsarme Luftfahrt leisten.

Tatsächlich ermöglicht modernste Folientechnik heute, sehr kleine Luftschiffe zu realisieren, die problemlos indoor fliegen. Das Windreiter Team hat in der Vergangenheit ähnliche Aufträge durchgeführt und zum Beispiel den empfindlichen Innenraum historischer Kirchen bildgebend befliegen. Untertage war jedoch noch nie ein Luftschiff, entsprechend skeptisch war das initiale Treffen mit Ingenieuren des CERN ALICE Detektors. Die Problemstellung war überaus interessant. Im laufenden

Betrieb, das heißt fast über das ganze Jahr hinweg, erzeugt der Partikelstrahl des Teilchenbeschleunigers Strahlung, die einen Aufenthalt nahe des Detektors verbietet. Dennoch müssen die Anlagen inspiziert werden, da in den riesigen Experimenten Störungen auftreten können, die meist aber unkritisch sind. Um das zu entscheiden, muss derzeit ein Strahlentechniker in die Höhlensysteme, wo dieser sich einer signifikanten Strahlendosis aussetzt. Die Entwicklung autonomer Inspektionssysteme soll die Arbeit der Techniker vor Ort ungefährlicher machen. Die Idee, ein Luftschiff und nicht etwa eine Drohne einzusetzen, kommt aus vorangegangenen Experimenten mit Drohnen, die bei einer Fehlfunktion enormes Zerstörungspotential entfalten und damit zu einem Risiko für die empfindlichen Anlagen würden.

Die Anforderungen waren erheblich. Ein winziges Luftschiff, nicht breiter als eine Standardtür, sollte die gigantischen Kavernen in denen die Sensoren des Teilchenbeschleunigers über mehrere Stockwerke verbaut sind inspizieren. Dabei war keine direkte Sichtverbindung möglich und alle Steuerbefehle,

Videofeedback und Sensordaten sollten über drahtlose Verbindungen im internen Netzwerk des CERN laufen.

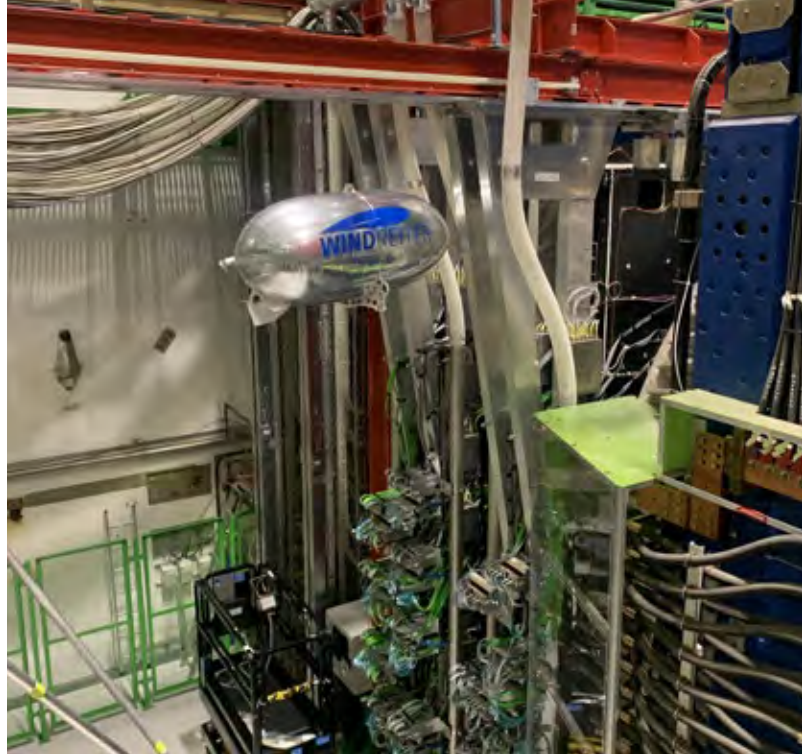
Doch die letzte Anforderung verschob den Auftrag in den Bereich des nahezu Unmöglichen. Der Large Hadron Collider würde kurz vor Weihnachten für einige Tage abgeschaltet, so dass dann ohne Strahlungsgefahr ein Testflug als Demonstration der Technologie in den Kavernen durchzuführen ist. Das waren weniger als 6 Wochen Zeit für das Design eines passenden Luftschiffs, dessen Fertigung sowie – viel komplexer – die Entwicklung der Steuerungselektronik die eine Datenschnittstelle über das CERN Netzwerk erlaubt.

6 Wochen – und viele durchgearbeitete Nächte später - erreichen 3 Techniker des Windreiter Teams in einer regnerischen Dezembernacht die Pforte des CERN. Das Gelände ist wie ausgestorben, so kurz vor Weihnachten halten sich nur noch wenige Wissenschaftler vor Ort auf. Neben einigen repräsentativen Gebäuden ist dieses weltberühmte Forschungszentrum übersät von Baracken und baufälligen Hallen. Man sagt, „Im CERN liegt das Geld unter der Erde“.

Nachdem ein Aufzug den Besucher 50 m ins Erdreich befördert, wird klar wo das Geld hinfließt. Das Panorama der ALICE Detektor Kaverne ist irgendwas zwischen Raumschiff und Baustelle, riesige Stahltore beherbergen eine Unzahl feingliedrig angeordneter Kabel, umschwirrt von blinkenden Lichtern verschiedenster Geräte und Sensoren, die Unmengen von Daten an Flure voller Server liefern. Dazwischen laufen Lüftungsanlagen, zwischen Ventile und spiegeln Edelstahlkonstruktionen die wiederum komplizierte Apparaturen beherbergen.

Das Aufrüsten eines kleinen Luftschiffs ist in Minuten erledigt, ebenso problemlos loggte sich das Gefährt und seine Sensorik in das CERN Netzwerk ein. Um den Ernstfall zu simulieren befand sich der Operator des Luftschiffs überirdisch in einem Kontrollraum und wurde von einem CERN Techniker zu Orten von Interesse gelotst, während ein zweites Team unter Tage dem Luftschiff folgte um einen sicheren Ablauf zu gewährleisten.

Später berichtete der Operator, dass sich die Steuerung wie eine Mischung aus Uboot und Marsrover anfühlte und oft durch die große Latenz zwischen Steuerbefehl und Rückmeldung erschwert wurde. Der erfahrene Windreiter Pilot bugsiert das Luftschiff durch die teils engen Korridore und über mehrere Stockwerke hinweg



zu den verschiedenen Inspektionszielen, die jeweils visuell kontrolliert wurden. Dabei wurden viele Daten zum Flugverhalten, der Netzwerkabdeckung und so weiter gesammelt, die in die Entwicklung des Inspektionssystems einfließen würden.

Damit eröffnete der wahrscheinlich erste Flug eines Luftschiffs unter Tage spannende Möglichkeiten für die Erkundung von sensiblen Bereichen. Das Windreiter Team arbeitet bereits an weiteren Iterationen des Inspektionskonzepts, inklusive autonomen Navigierens, und weitere Flüge im CERN sind geplant.

### Über Windreiter

Windreiter ist ein Startup, das sich mit Technologie zum Bau von Luftschiffen beschäftigt. Kerngeschäft ist die Fertigung von ultra-leichten, gasdichten Ballons von beliebiger Größe. Windreiter vereint Kompetenz bei Design und Bau von Luftschiffdrohnen, sowie deren Einsatz. Mit einem weltweiten Kundenstamm und hoher Innovationskraft, treibt Windreiter die sich rapide entwickelnde Zukunft einer emissionsfreien Luftschiffahrt mit an. ■

## Ihr Kontakt

**Dr. Andreas Burkart**

Forschung&Entwicklung  
Spezialoperationen  
Windreiter

[andreas@windreiter.de](mailto:andreas@windreiter.de)

[www.windreiter.com](http://www.windreiter.com)



## Neue Raumfahrtstrategie der Bundesregierung verabschiedet

Ob beim Klimaschutz, für die Forschung, für Navigation oder in der Telekommunikation – Raumfahrtinfrastrukturen wie etwa Satelliten sind im alltäglichen Leben nicht mehr wegzudenken. Aber auch für eine staatliche Handlungsfähigkeit sind Raumfahrttechnologien Schlüsselinstrumente. Die Bundesregierung hat daher im Herbst 2023 die neue Raumfahrtstrategie beschlossen, die der zunehmenden Bedeutung der Raumfahrt Rechnung tragen soll.

In der neuen Raumfahrtstrategie geht es um das Voranbringen von New Space, die Bekämpfung des Klimawandels, Verfügbarkeit und Nutzung von Daten sowie um einen verantwortungsvollen Umgang von Raumfahrtanwendungen. Bereits zu Beginn wurde die Raumfahrt-Community mit Expertinnen und Experten aus Industrie, Forschung und Verbänden über Workshops an der Erstellung der Raumfahrtstrategie beteiligt.

### Neun geplante Handlungsfelder

Es werden dabei neun wesentliche Handlungsfelder gesehen, um aus dem Umbruch durch die weltweite dynamische Weiterentwicklung hinzu Kommerzialisierung, Digitalisierung sowie mit geopolitischen Veränderungen konfrontiert, einen Erfolg für die deutschen und die europäischen Raumfahrtaktivitäten zu machen:

- Europäische und internationale Zusammenarbeit
- Raumfahrt als Wachstumsmarkt – Hightech und New Space
- Klimawandel, Ressourcen und Umweltschutz
- Digitalisierung, Daten und Downstream
- Sicherheit, strategische Handlungsfähigkeit und globale Stabilität
- Nachhaltige Nutzung des Weltraums
- Weltraumforschung
- Internationale Weltraumexploration
- Raumfahrt im Dialog und Gewinnung von Talenten

In dieser Strategie werden mithilfe der Handlungsfelder die strategisch-politischen, sozio-ökonomischen und wissenschaftlichen Ziele der Raumfahrtspolitik der Bundesregierung zum Zielhorizont 2030 deutlich und festgelegt.

In jedem der neun Handlungsfelder befinden sich Schlüsselprojekte. Diese Projekte umfassen Inhalte mit herausgehobener Bedeutung innerhalb der jeweiligen Handlungsfelder. Mit dem Beginn der Umsetzung solcher Projekte sollen noch in dieser Legislaturperiode zeitnah wichtige Herausforderungen angegangen werden.

Zur Umsetzung, insbesondere der Schlüsselprojekte, wird ein Monitoring durchgeführt. Hierbei werden auch Austausch und Abgleich mit der Umsetzung weiterer die Raumfahrt betreffenden Strategien erfolgen. Dies sind insbesondere die Nationale Sicherheitsstrategie sowie die von ihr abgeleitete zukünftige Weltraumsicherheitsstrategie, die Zukunftsstrategie Forschung und Innovation, die Digitalstrategie sowie die von ihr abgeleitete zukünftige nationale Anwendungsstrategie.



Die „Raumfahrtstrategie der Bundesregierung“ wurde am 27. September 2023 veröffentlicht. Die digitale Version des Dokuments kann durch Scannen des QR-Codes oder über den folgenden Link geladen werden:

<https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Technologie/20230927-raumfahrtstrategie-breg.html>





Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

# Raumfahrtstrategie der Bundesregierung

[bmwk.de](https://www.bmwk.de)

## Das AeroSpace.NRW Akteursverzeichnis

Nordrhein-Westfalen ist eine der wirtschaftsstärksten Metropolregionen Europas. Dies gilt auch für den Bereich Luft- und Raumfahrttechnologie. Die Industrie bildet dabei die Basis und den Motor für Forschung, Wachstum und Wohlstand. Zu ihr gehören weltbekannte, große Konzerne, aber auch viele kleine und mittlere Unternehmen – sogenannte „Hidden Champions“ – die äußerst erfolgreich sind.



Welche genau diese Unternehmen, Hochschulen und Forschungseinrichtungen aus dem Bereich Luft- und Raumfahrt in NRW sind, können sie dem AeroSpace.NRW Akteursverzeichnis entnehmen. Die jeweils aktuelle Fassung des Verzeichnisses finden Sie hier online:

<https://aerospace.nrw/standort-nrw/akteure>

### Das Akteursverzeichnis ist in drei Rubriken unterteilt

- Unternehmen
- Hochschulen/Forschungseinrichtungen (Wissenschaft)
- Infrastrukturgeber

### Werden Sie im Akteurverzeichnis sichtbar!

Sie sind in Nordrhein-Westfalen angesiedelt und in der Luft- und Raumfahrtindustrie tätig? Dann freuen wir uns, Sie in unser Akteursverzeichnis aufzunehmen. Dies ist für Sie kostenfrei, alle wichtigen Informationen finden Sie online unter

<https://aerospace.nrw/akteursverzeichnis>



# Termine

## Februar 2024

20.-25.02.2024 - Singapore Airshow 2024, Singapur (SGP)  
<https://www.singaporeairshow.com/>

## März 2024

14.03.2024 – GATE FUTURE, Berlin  
<https://www.gate-alliance.com/activities/gate-future-2024/>

## April 2024

17.-20.04.2024 – AERO 2024, Friedrichshafen  
<https://www.aero-expo.de/>

## Mai 2024

28.-30.05.2024 – Aircraft Interiors Expo (AIX), Hamburg  
<https://www.aircraftinteriorsexpo.com/>

28.-30.05.2024 – EBACE2024, Genf, (CH)  
<https://ebace.aero>

## Juni 2024

05.-09.06.2024 – ILA Berlin, Berlin  
<https://www.ila-berlin.de/de>

## Juli 2024

22.-26.07.2024 – FARNBOROUGH INTERNATIONAL AIRSHOW, Farnborough (UK)  
<https://www.farnboroughairshow.com/>

## September 2024

18.-19.09.2024 – ESA Industry Space Days, Noordwijk (NL)  
<https://isd.esa.int/>

18.09.2024 – 18. Tag der Deutschen Luft- und Raumfahrtregionen, München  
<https://www.bdli.de/>

## Oktober 2024

08.-10.10.2024 – AIRTEC 2024, Augsburg  
<https://airtec.aero/>

09.10.2024 – INNOspace Masters final event, Berlin  
<https://innospace-masters.de/final-event/>

## November 2024

19.-21.11.2024 – Space Tech Expo Europe, Bremen  
<https://www.spacetechempo-europe.com/>



# Boost your innovation!

Indem wir professionelle Innovationsstrategien erstellen, unterstützen wir Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Netzwerke bei der Entwicklung von Innovationen, basierend auf Schlüsseltechnologien wie Photonik, Materialien, Mikrosystemtechnik sowie der Nano- und Quantentechnologien.

**NMW.P.**  
The Innovation Engineers.

[www.nmwp.eu](http://www.nmwp.eu)

