

Luft- & Raumfahrt

Informieren • Vernetzen • Fördern



**Mit hoher Kohlenstoffeffizienz
zu preiswertem synthetischem Kerosin?**

ESA-EU Space Summit 2023 –

Wegbereiter für mehr Nachhaltigkeit und mehr Wettbewerb

Innovationen für den Klimaschutz –

Förderungen für Klimaneutralität durch LuFo VI-3 Klima

Hochleistungsantriebe für Trägerraketen –

Wiege moderner Flüssigkeitsantriebe in Deutschland

Alisa Griebler
DGLR-Kommunikation



Bild: Michael Griebler

Liebe Leserinnen und Leser,

2024 verspricht wieder ein spannendes Luft- und Raumfahrtjahr zu werden. In der Raumfahrt werden insbesondere die Trägerraketen dieses Jahr die Blicke auf sich ziehen. Für den Sommer ist der Start der ersten *Ariane-6-Rakete* geplant und die *Vega-C* soll im Herbst wieder aufsteigen. Dazu kommen geplante Erststarts von drei deutschen **Mikrolauncher-Unternehmen**. Die Luftfahrt (und auch die Raumfahrt) wird sich auf der diesjährigen *ILA Berlin* und der *Paris Air Show* wieder von ihrer innovativsten Seite zeigen, denn die ganze Branche arbeitet mit ihren Projekten weiter massiv an einem nachhaltigeren Luftverkehr.

Dazu gehört zum Beispiel die Entwicklung von **Sustainable Aviation Fuels** (SAF), um die es im Titelthema geht. Der Weg dahin gestaltet sich schwierig. So ist nicht nur kostengünstiger, CO₂-neutraler Strom ein wichtiger Faktor, sondern auch die Kohlenstoffeffizienz. Um Technologien für eine klimafreundliche Luftfahrt geht es beim deutschen **Luftfahrtforschungsprogramm** (LuFo). Der aktuelle Aufruf, *LuFo VI-3 Klima*, konnte bereits viele Projekte unterstützen, die die Ziele der Luftfahrtbranche nach vorn bringen. Auf europäischer Ebene arbeitet das **Clean-Sky-2-Programm** daran. Teil davon ist der **Cross-Capability-Demonstrator**, der mit numerischen Methoden dazu beträgt, die Vorhersagen der Auswirkung neuer Technologien auf die Flugzeugkonfiguration zu verbessern.

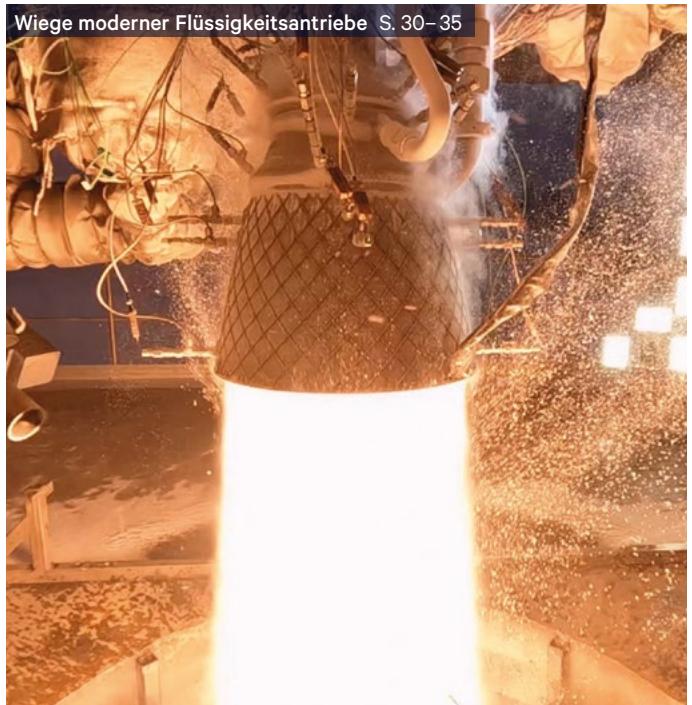
Um die europäischen Raumfahrtentwicklungen zu lenken, kamen im November 2023 die Mitgliedstaaten der Europäischen Weltraumorganisation ESA zum **Space Summit** zusammen. Sie sprachen über ihre Ambitionen für eine nachhaltige und wettbewerbsfähige Raumfahrt. Natürlich waren hier auch Trägerraketen ein wichtiges Thema. Die letzte „Luft- & Raumfahrt“ bot bereits einen Blick auf die Arten von **Trägerraketen**. Diese Ausgabe beschäftigt sich mit ihrer **geschichtlichen Entwicklung**. Es geht aber nicht nur um Raketen, sondern auch um ihre Nutzlasten. Im Herbst 2023 vergab die **Deutsche Raumfahrtagentur** im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in drei Kleinsatellitenwettbewerben Startplätze auf deutschen MikroLaunchern für die nächsten Jahre.

Wir, die **Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt** (DGLR), starten mit einem neuen Senat ins Jahr. Auch für uns wird es eine spannende Zeit. Wir sind dieses Jahr wieder beim *Berlin Aviation Summit* und der *ILA* dabei und freuen uns auf einen erneut großen **Deutschen Luft- und Raumfahrtkongress** (DLRK) in Hamburg. Bitte merken Sie sich dafür unbedingt den **30. September bis 2. Oktober 2024** vor. Wir freuen uns, Sie dort begrüßen zu dürfen. Ich wünsche Ihnen einen glücklichen, entspannten und gesunden Start ins neue Jahr und jetzt ganz viel Spaß mit unserer „Luft- & Raumfahrt“!

Ihre Alisa Griebler

Inhalt Ausgabe 1/2024

Vorwort	4
Meldungen	6 – 12
Meldungen Luftfahrt	
Erster transatlantischer SAF-Flug mit Passagiermaschine	6
Technologiekooperation für Flugkraftstoffe der Zukunft	
UltraFan mit maximaler Leistung getestet	7
Flugtests für neue Airbus-Flügel	
Volocopter fliegt über New York	8
Flughafen Hamburg tritt Wasserstoffnetzwerk bei	
Meldungen Raumfahrt	
Ariane 6 soll im Sommer 2024 starten	9
Erste Starts in der Nordsee ab Frühjahr 2024	
Euclids erste Bilder Zero Debris Charta gestartet	10
Airbus baut neue Galileo-Satelliten	11
Kein Start für Vega-C bis Ende 2024	
Meldungen DGLR	
Ergebnisse der Senatswahl	12
DGLR-Ehrenmitgliedschaft für Dr. Thomas Reiter	
Titelthema: Sustainable Aviation Fuels 14 – 17	
Luftfahrt	18 – 25
LuFo VI-3 Klima	18 – 21
Cross-Capability-Demonstrator	22 – 25
Raumfahrt	26 – 39
ESA-EU Space Summit 2023	26 – 29
Wiege moderner Flüssigkeitsantriebe	30 – 35
Kleinsatellitenwettbewerbe	36 – 39
DGLR Dr. Thomas Reiter	40 – 41
Nachwuchs DASH Exoskeleton Student Club ..	42 – 43
Technischer Artikel	44 – 47
Turbulenzproduktion in Flugzeugantrieben	
Veranstaltungen	48 – 56
Termine	48
Berichte:	
DGLR-Jahrestagung	49
International Air Cadet Exchange 2023	50 – 51
Rückblick auf die IMAV 2023	52 – 53
Raumfahrtgeschichtliches Kolloquium	54 – 55
Workshop Q3.4: Künstliche Intelligenz	55 – 56
Personalia	57
Dank an Dr. Thilo Günter Verstorbene	
Impressum	58

Sustainable Aviation Fuels S. 14–17**LuFo VI-3 Klima S. 18–21****Cross-Capability-Demonstrator S. 22–25****ESA-EU Space Summit 2023 S. 26–29****Wiege moderner Flüssigkeitsantriebe S. 30–35****Kleinsatellitenwettbewerbe S. 36–39**

Liebe Leserinnen und Leser, liebe Mitglieder der DGLR,

die erste Ausgabe eines neuen Jahres bietet die Gelegenheit für einen Rückblick auf das letzte Jahr und einen Ausblick auf das kommende:

2023 hat den sehr positiven Trend aus 2022 fortgesetzt und das in vielerlei Hinsicht. Der **Deutsche Luft- und Raumfahrtkongress** (DLRK) in Stuttgart hat nach Dresden wieder Rekorde eingefahren. Die Gesamtteilnehmerzahl hat zum ersten Mal überhaupt die 1.000er-Schwelle überschritten. Bemerkenswert ist, dass die Teilnehmenden ohne eigenen Vortrag, also reine Zuhörende und Diskutierende, mittlerweile einen großen Anteil ausmachen. Das zeigt das große Interesse an dem wissenschaftlich-technischen Austausch auf dem Kongress: faktenbasierte Diskussion anstelle von Fake News. Das entspricht genau der Rolle unserer **Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt** (DGLR). Dabei ist zu beachten, dass wir uns gerade in einer Phase der **technischen und gesellschaftlichen Diskussion** befinden, in der nicht alle Antworten „auf dem Tisch liegen“. Fördern wir Sustainable Aviation Fuels oder Wasserstoff oder machen wir weiter wie bisher? Setzen wir auf Mikro-launcher und/oder Großraketen als europäische Strategie und wie gestaltet sich der deutsche Anteil daran? Mich persönlich haben die vielen Vorträge begeistert, auf den aktuellen Stand der Forschung gebracht und neuen Input gegeben, insbesondere außerhalb meiner normalen „Bubble“ der zivilen Luftfahrt.

Auch finanziell war 2023 ein **gutes Jahr** für unseren Verein, was nach der akuten Coronapandemie alles andere als selbstverständlich ist. Wir werden höchstwahrscheinlich zum ersten Mal die Millionen-schwelle im Umsatz überschreiten und einen angemessenen Gewinn verbuchen können. Beigetragen hierzu hat ein sehr erfolgreiches **Weiterbildungsprogramm**. Deshalb an dieser Stelle: Vielen Dank an

die vielen Vortragenden! Weniger erfreulich war, dass der Fachkräftemangel auch an der Geschäftsstelle nicht spurlos vorbeigegangen ist. Es konnten weniger neue Mitarbeitende gewonnen werden als geplant. So blieben viele Aktionen am bestehenden Team hängen. Vielen Dank, dass dennoch alles geklappt hat. Ein Zeichen für eine gut funktionierende und motivierte Geschäftsstelle, die hoffentlich bald weitere Verstärkung erhält.

Insgesamt starten wir gestärkt in ein spannendes Jahr 2024: Das **Projekt 3000** wird konkreter, die Stelle für die **Virtual International Group** ist ausgeschrieben (Bewerbungen sind hochwillkommen), die Planung für eine **englische Ausgabe** der Luft- und Raumfahrt läuft. Die **Mitgliederzahl** ist jedoch trotz aller Ideen und Maßnahmen leider noch nicht weiter gewachsen – hier sind noch Altlasten aus der Coronazeit zu spüren. Umso mehr sollte sich jede und jeder fragen, ob es nicht Bekannte oder Kolleginnen und Kollegen gibt, die noch nicht DGLR-Mitglied sind und die sich für unser Netzwerk begeistern lassen.

Ansporn ist auch **Hamburg** als nächster Austragungsort für den DLRK. Nach zwei Rekordkongressen hoffen wir am drittgrößten zivilen Luftfahrtstandort der Welt und in direkter Nähe zum Raumfahrtstandort Bremen auf rege Beteiligung. Die Terminfindung war aufgrund anderer Großveranstaltungen nicht ganz einfach: Wir starten am **30. September 2024** und enden am **2. Oktober**, direkt vor dem Feiertag. Aus der Not eine Tugend machend werden aber einige Programmanpassungen die Attraktivität sichern – bleiben Sie gespannt.

Spannend ist auch die Entwicklung unserer **Fachbereiche** in den Themenfeldern Technik und Gesellschaft (Luftfahrt L7 und Raumfahrt R3). Angeregt durch Diskussionen im Senat sind neue Diskussionsfor-

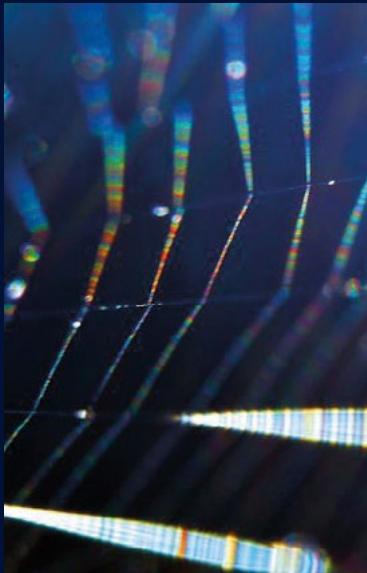


Dipl.-Ing. Roland Gerhards
Präsident der DGLR

mate entstanden und Arbeitsgruppen aufgestellt worden. Gerade auch jüngere Teilnehmende mit einem frischen Blick und kritischen Fragen gestalten zusammen mit Erfahrenen hier unser Vereinsleben. Die Entwicklung ist sehr dynamisch und zeigt wieder einmal die Relevanz der offenen und fairen Diskussion miteinander. Wer bei diesen spannenden Fragestellungen mitwirken möchte, ist herzlich eingeladen. Wo sonst hat man die Gelegenheit, mit so vielen Fachleuten aus verschiedensten Bereichen zu diskutieren?

Apropos diskutieren: Vielen Dank für Ihre Rückmeldungen insbesondere auf dem Kongress. Social Media ist für mich besonders relevant, weil es den direkten und schnellen Austausch ermöglicht. Gestalten Sie „Ihren“ Verein mit! Nutzen Sie alle Kanäle für positives und negatives Feedback. Wir machen es Ihnen so einfach wie möglich.

*In diesem Sinne
Ihr Roland Gerhards*



Unsere Weiterbildungen im Frühjahr 2024!

26.–28. Februar 2024, Berlin

Flugregelung für unbemannte und bemannte Luftfahrzeuge

Leitung: Prof. Dr.-Ing. Alexander Köthe, AlphaLink Engineering GmbH

Prof. Dr.-Ing. Robert Luckner, Technische Universität Berlin

6.–8. März 2024, Berlin

Grundkurs Satellitentechnik

Leitung: Prof. a. D. Dr.-Ing. Klaus Brieß, Ingenieurbüro für Raumfahrttechnik

Dr. rer. nat. Siegfried Voigt, Deutsche Raumfahrtagentur im DLR

13.–15. März 2024, München

Werkstoffe und Verfahren für die Luftfahrt

Leitung: Dr.-Ing. Christian Weimer, Airbus

19.–21. März 2024, Berlin – NEUER KURS

Grundkurs Weltraumsensorik und -instrumente

Leitung: Prof. a. D. Dr.-Ing. Klaus Brieß, Ingenieurbüro für Raumfahrttechnik



Entdecken Sie jetzt unser vollständiges
Weiterbildungsangebot unter:
www.weiterbildung.dglr.de



Erster Transatlantikflug einer Passagiermaschine mit nachhaltigem Treibstoff

Virgin Atlantic hat im November 2023 Geschichte geschrieben, als die Fluggesellschaft mit einem Passagierflugzeug, das mit 100 Prozent *Sustainable Aviation Fuel (SAF)* angetrieben wurde, einmal den Atlantik überquerte. Unterstützung bei dem Vorhaben erhielt sie dabei von der britischen Regierung.

Der SAF-Flug war nach Angaben der britischen Regierung der erste mit einer Passagiermaschine, zuvor gelang dies nur dem US-Unternehmen *Gulfstream Aerospace* mit einem Businessjet. Die *Boeing 787 Dreamliner* der Fluglinie *Virgin Atlantic* hob am 28. November 2023 um 11:49 Uhr Ortszeit vom Londoner Flughafen Heathrow nach New York ab, wo der *Flight100* gegen 14:40 Uhr Ortszeit am John F. Kennedy Airport eintraf. Zahlende Passagiere und reguläre Fracht waren nicht an Bord. Zu den geladenen Gästen gehörten unter anderem der CEO der Airline, *Shai Weiss*,

Virgin-Gründer **Richard Branson** und **Mark Harper**, der britische Verkehrsminister. Das Vorhaben ist ein wichtiger Schritt, denn die Luftfahrt verursacht nach Schätzungen im Jahr rund 2,5 Prozent der globalen CO₂-Emissionen.

Neben effizienteren Triebwerken und Ausgleichsmaßnahmen setzt die Flugindustrie für eine nachhaltigere Luftfahrt auf SAF. SAF kann aus allem hergestellt werden, das **nicht aus fossilen Ausgangsstoffen** produziert und nachhaltig ist – zum Beispiel Frittenfett, Schlachtfette und Fischabfälle sowie Pflanzenöle und ihre Reststoffe. Bei dem für Flight100 verwendeten SAF handelte es sich um eine **Doppelmisschung**: 88 Prozent wurden im **HEFA-Verfahren** (*Hydroprocessed Esters and Fatty Acids*) produziert und aus tierischen Fettabfällen hergestellt. Bei den restlichen zwölf Prozent handelt es sich um **SAK (Synthetic Aromatic Kerosene)**, ein künstliches, aus



Bild: Virgin Atlantic

Eine Boeing 787 Dreamliner von Virgin Atlantic unternahm den ersten reinen SAF-Flug über den Atlantik

Maisabfällen hergestelltes Kerosin. SAK wird in reinen SAF-Mischungen benötigt, um dem Kraftstoff die für die Motorfunktion erforderlichen **Aromate** beizufügen.

Der Virgin-Atlantic-Flug zeigte, dass zurzeit für den Einsatz von SAF noch die (finanzielle) Unterstützung aus der Politik notwendig ist, denn die britische Regierung unterstützte das Vorhaben mit einer Million Pfund (1,15 Millionen Euro). Für einen weiteren Umstieg auf SAF muss die Verfügbarkeit des Treibstoffs verbessert werden. Großbritannien will nun bis 2025 insgesamt fünf SAF-Werke bauen. ●

Technologiekooperation für Flugkraftstoffe der Zukunft

Vertreterinnen und Vertreter von *Lufthansa*, dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), *Airbus*, Flughafen München GmbH sowie *MTU Aero Engines* haben am 19. Oktober in Berlin eine Absichtserklärung zur Technologiekooperation bei *Power-to-Liquid-Flugkraftstoffen (PtL)* unterzeichnet. Das Hauptziel der Forschungskooperation besteht darin, die Entwicklung von PtL voranzutreiben, um eine nachhaltigere Luftfahrt zu ermöglichen.

PtL wird derzeit als die nächste Generation **nachhaltiger Flugkraftstoffe (Sustainable Aviation Fuels, SAF)** betrachtet. Die Kooperation zielt darauf ab, die Technologieauswahl, Markteinführung und industrielle Skalierung von PtL-Flugkraftstoffen in Deutschland zu beschleunigen. Dabei werden Fragestellungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette erforscht, einschließlich des Einsatzes von reinem PtL ohne fossilem Kerosin. Die zukünftigen Kooperationsmitglieder sehen in PtL-Kraftstoffen das Potenzial, erhebliche Mengen CO₂ und anderer Emissionen einzusparen.



Bild: Lufthansa

Von links: Nicole Dreyer-Langlet, Geschäftsführung von Airbus in Deutschland, verantwortlich für das Thema Forschung und Technologie; Jens Ritter, CEO Lufthansa Airlines; Prof. Meike Jipp, DLR-Bereichsvorständin Energie und Verkehr; Jost Lammers, Vorsitzender der Geschäftsführung der Flughafen München GmbH; Lars Wagner, Vorstandsvorsitzender der MTU Aero Engines AG

SAF werden ohne den Einsatz fossiler Rohstoffe wie Erdöl hergestellt und erfüllen darüber hinaus weitere Nachhaltigkeitskriterien. Die **Bandbreite** infrage kommender Rohstoffe und Technologien für die Herstellung von SAF ist groß. Neben aktuell in geringen Mengen verfügbaren nachhaltigen Flugkraftstoffen aus biogenen Reststoffen erscheint insbesondere auch das PtL-Verfahren vielversprechend. Bei dieser nächsten Generation von SAF entsteht der Kraftstoff aus regenerativ erzeugtem Strom, Wasser und CO₂ aus der Atmosphäre.

Die **Forschungskooperation** markiert einen entscheidenden Schritt für die klimafreundliche Transformation des Luftverkehrs, da SAF zurzeit als Hauptlösung für die Dekarbonisierung der Luftfahrt gelten. Airbus hat bereits die Kapazitäten, SAF bis zu 50 Prozent zu nutzen, und arbeitet derzeit an der Zulassung für eine vollständige Nutzung. Bei der Unterzeichnung betonten die Kooperationspartner daher die immense Bedeutung von SAF für die Klimawirkung des Luftverkehrs und setzen einen klaren Fokus auf die nachhaltige Zukunft der Luftfahrtindustrie. ●

Rolls-Royce testet UltraFan mit maximaler Leistung

Am Hauptsitz in Derby hat Rolls-Royce den *UltraFan-Demonstrator UF001* mit voller Leistung auf dem neuen Prüfstand *Testbed 80* laufen lassen, wie der Konzern Mitte November 2023 mitteilte. Der britische Hersteller erreicht mit dem Test einen wichtigen Meilenstein in der Entwicklung seines Zukunftstriebwerks.

Die ersten Tests mit dem modernen Großtriebwerk wurden am 24. April 2023 durchgeführt, wie Rolls-Royce aber erst Mitte Mai mitteilte. Seitdem habe man im Rahmen der Testkampagne die Leistung immer weiter hochgefahren. Dabei habe der Demonstrator die Erwartungen erfüllt, so der Triebwerkshersteller. Der UltraFan hat beim aktuellen Test nach Angaben von Rolls-Royce einen Schub von mehr als 378 Kilonewton erreicht. Der Demonstrator ist für einen Schub von 356 Kilonewton ausgelegt. Für die Tests wurde ausschließlich *Sustainable Aviation Fuel (SAF)* eingesetzt.

Schlüsselkomponente des Großtriebwerks ist ein **Leistungsgetriebe**, das zwischen der Mitteldruckturbine und dem riesigen Bläser sitzt. Das Leistungsgetriebe hat einen Durchmesser von rund 80 Zentime-

tern und besteht aus einem Sonnenrad, fünf Umlaufrädern und einem festen Hohlrad. Rolls-Royce verspricht mindestens **25 Prozent Einsparung** beim Treibstoff, aber auch massiv geringere Emissionen an Lärm und Treibhausgasen. Möglich wird das unter anderem durch eine neue Technologie, die bei den bisherigen Trent-Triebwerken des Herstellers so noch nicht zum Einsatz kommt. Bei diesen drehen sich innerhalb eines Triebwerks alle Schaufeln auf einer Welle. Damit geht jedoch ein Effizienzverlust einher, da die Drehzahl in den einzelnen Druckbereichen der Turbine nicht optimal eingestellt werden kann. Beim UltraFan ist die Welle zwischen den

Bereichen **entkoppelt**, was bedeutet, dass die vordersten Schaufeln sich langsamer als die restlichen drehen. Das macht den Motor effizienter und deutlich leiser. Das Getriebe wurde von Rolls-Royce Deutschland und Liebherr-Aerospace entwickelt.

Der UltraFan ist mit einem Turbinendurchmesser von 3,55 Metern das **größte Triebwerk** der Welt. Um Gewicht zu sparen, besteht es aus Leichtbaumaterialien: Die Triebwerksschaufeln sind aus Kohlenstoff und Titan gefertigt, das Gehäuse aus einem Verbundwerkstoff. Die Leistung des riesigen Triebwerks gibt Rolls-Royce mit 64 Megawatt an. ●



Der UltraFan hat bei Tests im November 2023 seine geplante Schubleistung übertroffen

Airbus beginnt Flugtests für neue Flügel

Im November 2023 ist der erste Flug des *eXtra-Performance-Wing-Demonstrators* gestartet. Das Projekt, das von der *Airbus-Tochtergesellschaft Up-Next* initiiert wurde, ist auf die Innovation der Flügel von Flugzeugen spezialisiert. Ziel ist es, durch die neuartigen Flügel Verbrauchssenkungen zu erreichen und damit zu einer nachhaltigeren Luftfahrt beizutragen.



Im Jahr 2024 werden die eXtra Performance Wings an der Cessna angebracht und am Boden getestet, bevor 2025 die ersten Flüge stattfinden

Der *eXtra-Performance-Wing-Demonstrator* von Airbus ist Anfang November 2023 zum Erstflug von Toulouse-Blagnac aus gestartet. Beim **Testflugzeug** handelt es sich um eine *Cessna Citation VII*. Sie soll zukünftig mit den neuartigen Tragflächen ausgestattet werden, in der jetzt gestarteten ersten Phase fliegt sie aber noch mit ihren alten Flügeln. Das Flugzeug soll künftig vom Boden aus ferngesteuert werden und erhielt dafür in Toulouse bereits **Antennen** und **Sensoren**, die nun im Flug mit Piloten getestet werden. Der Erstflug markiert laut Airbus den Beginn einer Reihe von Flugtests, um neue Features und Technologien zu erproben. Im Idealfall wird mit den Neuerungen der Treibstoffverbrauch um fünf bis zehn Prozent gesenkt.

Airbus hat das *eXtra-Performance-Wing-Projekt* im September 2021 begonnen. Beim **Design** ließ sich das Unternehmen von der Natur inspirieren. Mithilfe der sogenannten *Biomimikry*, einer aus der

Biologie inspirierten Technik, ist ein Flügel entwickelt worden, der während des Flugs seine **Form** und **Gestalt verändert** kann, um damit seine aerodynamische Effizienz zu maximieren. Die neuen Flügel sind dünn und lang, das soll den Luftwiderstand reduzieren. Windsensoren an der Vorderseite des Flugzeugs registrieren Veränderungen der Turbulenzen und lösen entsprechende Anpassungen an den Steuerflächen des Flügels aus. Hinzu kommen die klappbaren Flügel spitzen, die einen doppelten Zweck erfüllen. Am Boden verhindern sie, dass das Flugzeug die maximal zulässige Spannweite von 36 Metern an Flughäfen überschreitet. In der Luft hingegen passen sie sich flexibel an und ändern ihre Form, um übermäßigen Druck auf den Flügel zu verringern. Sobald bei den ersten Flugtests genügend Basisdaten gesammelt wurden, wird der Demonstrator nach Cazaux, Frankreich, geflogen, wo er für den Rest des Projekts stationiert sein wird. ●

Volocopter hebt für einen Testflug in New York ab

Der Bürgermeister **Eric Adams** hat offiziell seine Absicht bekundet, New York zur Heimat für Flugtaxis zu machen. Mit dem US-Unternehmen **Joby Aviation** und dem deutschen Flugtaxi-Entwickler **Volocopter** haben aus dem Anlass gleich zwei Unternehmen ihre Fluggeräte über New York aufsteigen lassen.

Normalerweise sind New Yorker vom JFK-Flughafen zum Downtown Manhattan Heliport (DMH) circa **eine Stunde** unterwegs. Mit Flugtaxis ginge es deutlich schneller, denn diese brauchen nur **sieben Minuten**



Der Volocopter 2X fliegt über New York

für die gleiche Strecke, wie Joby Aviation und Volocopter jetzt eindrucksvoll zeigten. Die Stadt ächzt unter dem Verkehr. Insofern erscheint es nachvollziehbar, einen Teil des Transports in die Luft zu verlagern. Bürgermeister Eric Adams will dazu künftig auf elektrisch betriebene Flugtaxis setzen.

Auf Einladung des Bürgermeisters von New York City und der **New York City Economic Development Corporation** nahm der **Volocopter 2X** an der weltweit größten und ersten öffentlichen Veranstaltung teil, bei der mehrere elektrische Senkrechtstarter in einer **Innenstadt** präsentiert wurden. „*Volocopter hat damit erfolgreich und sicher Flüge im Herzen von zwei der hektischsten Metropolen der Welt, New York City und Singapur, durchgeführt*“, teilte Volocopter in einer anschließenden Mitteilung mit. Das deutsche Unternehmen aus Bruchsal ließ seinen Volocopter 2X am Downtown Manhattan Heliport steigen und über den East River fliegen. Der Volocopter 2X fliegt mit 18 Ro-

toren, angetrieben wird er rein batterie-elektrisch, so wie auch der **Multicopter** von Joby Aviation, der am Montag ebenfalls am Downtown Manhattan Heliport abhob. Im Oktober erst hatte Joby erste Testflüge mit einem Piloten an Bord absolviert.

Im Rahmen der Veranstaltung hat die Stadt New York ihre **Zukunftsversion** des Hubschrauberlandeplatzes in Downtown Manhattan vorgestellt. Ziel ist es, Emissionen und Lärmbelästigung zu reduzieren und die Lebensqualität der Bewohnerinnen und Bewohner New Yorks zu verbessern. Auf Hubschrauberlandeplätzen wie dem Downtown Manhattan Heliport sollen künftig daher auch bald elektrische Senkrechtstarter starten können. Der Mitflug könnte per App umgesetzt werden. Ob die Flugtaxis eine tatsächliche Entlastung des Verkehrsnetzes bringen, bleibt abzuwarten, denn in ein Joby-Flugtaxi passen neben dem Piloten lediglich vier weitere Passagiere. Der Volocopter 2X trägt nur zwei Personen. ●

Flughafen Hamburg tritt Wasserstoffnetzwerk von Airbus bei

Als erster Flughafen in Deutschland tritt Hamburg Airport dem internationalen Netzwerk künftiger Wasserstoff-Hubs bei. Das Ziel des weltweiten Netzwerks „**Hydrogen Hub at Airports**“ des Flugzeugherstellers **Airbus** ist es, eine zuverlässige Infrastruktur für die Nutzung von Wasserstoff in der Luftfahrt aufzubauen.

Anfang Dezember 2023 unterzeichneten die Flughafengesellschaft des Hamburger Flughafens und der europäische Flugzeughersteller **Airbus** eine entsprechende **Kooperationsvereinbarung**. In dem „**Hydrogen Hub at Airports**“ genannten Netzwerk arbeitet **Airbus** gemeinsam mit Flughäfen, Airlines und Unternehmen aus dem Energiesektor zusammen, heißt es in der Ankündigung des Hamburger Flughafens. Das „**Hydrogen Hub at Airports**“-Netzwerk ist weltweit ausgerichtet und umfasst Kooperationspartner unter anderem aus Frankreich, Singapur, Japan und Neuseeland.

Der Beitritt zu dem weltweiten Netzwerk ist für den Hamburger Flughafen strate-

gisch wichtig: Grund dafür ist unter anderem **Airbus'** eigenes Projekt **ZEROe**, das bis 2035 ein wasserstoffbetriebenes Verkehrsflugzeug auf den Markt bringen möchte. Flughäfen, die es Airlines ermöglichen wollen, Verbindungen mit den neuen wasserstoffbetriebenen Flugzeugen zu fliegen, brauchen eine entsprechende **Infrastruktur** – vor Ort und weltweit. Die Entwicklung der entsprechenden Technologiebausteine wird nun in dem globalen Forschungs- und Techniknetzwerk vorangetrieben, das sich auf die Entwicklung der Wasserstofftechnologie für künftige Verkehrsflugzeuge konzentriert. Das „**Hydrogen Hub at Airports**“-Netzwerk erlaubt es Fluggesellschaften außerdem, **Routen** zu planen, die sie mit ihren Wasserstoffflugzeugen ansteuern können. Dadurch können Flughäfen mit entsprechender Infrastruktur zukünftig an Bedeutung gewinnen.

Der Kooperationsunterzeichnung war eine entsprechende Studie des **Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR)** gemeinsam mit dem Flughafen Hamburg



Unterzeichnung der Kooperationsvereinbarung

vorausgegangen, die im November 2023 veröffentlicht wurde. In deren Rahmen wurde eine **Roadmap** zum Einsatz von Wasserstoff an Flughäfen entwickelt. Wollte man den Einsatz dieser neuen Technologie ermöglichen, „*müssen wir sicherstellen, dass die Infrastruktur entwickelt und einsatzbereit ist, wenn die ersten Flugzeuge starten*“, so **Michael Eggenschwiler**, Vorsitzender der Geschäftsführung am Hamburg Airport in einer Pressemitteilung. Die Roadmap zeigt exemplarisch, wie dies funktionieren könne – vom zu erwartenden Wasserstoffbedarf über die Versorgung und den aus heutiger Sicht erwartbaren Kosten bis hin zur Anpassung der Flughafeninfrastruktur sowie operationelle Änderungen der Abläufe. ●

Ariane 6 soll im Sommer 2024 erstmals starten

Gute Nachrichten aus Paris: Die Europäische Weltraumorganisation ESA hat am 23. November 2023 nach dem erfolgreich verlaufenen Heißlufttest einen neuen Starttermin verkündet. Demnach könnte die europäische Ariane-6-Rakete Mitte 2024 ins All starten.



Die Ariane 6 hat die ersten Heißlufttests bereits bestanden

Die Ariane 6 sollte ursprünglich 2020 ins All starten, nun könnte es tatsächlich vier Jahre später als vorgesehen so weit sein: „Angenommen, dass alles nominal und ohne größere Schwierigkeiten verläuft, erwarten wir den Erstflug der Ariane 6 zwischen dem 15. Juni und dem 31. Juli nächsten Jahres“, teilte der ESA-Generaldirektor Josef Aschbacher der Deutschen Presse-Agentur (dpa) im November mit. Ein präziseres Startdatum könnte die ESA im März oder April 2024 festlegen.

Grund für den neuen Planungsrahmen ist der erfolgreich verlaufene Heißlufttest am 23. November 2023 auf der Startrampe in Kourou, Französisch-Guayana. Es war der letzte wichtige Bodentest vor dem Erstflug. Zwar blieb die 62 Meter hohe Ariane-6-Rakete fest auf dem Boden, aber für den Test des Hauptstufentriebwerks zündeten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler den Treibstoff des Vulcain-2.1-Triebwerks und ließen die Rakete anschließend bei vollem Schub mehr als sieben Minuten lang feuern. Dabei verbrannten sie insgesamt 150.000 Kilo-

gramm flüssigen Sauerstoff und Wasserstoff.

Vor der Zündung wurde die Trägerrakete wie auf einen echten Start vorbereitet, inklusive Betankung der Haupt- und Oberstufe. Der lange Heißlufttest dient der Qualifikation der Trägerrakete und der Startrampe. Ebenfalls erfolgreich verliefen die weiteren Tests: Ein vierter und letzter Heißlufttest mit der Ariane-6-Oberstufe fand am 7. Dezember 2023 in Lampoldshausen in Baden-Württemberg statt. Eine Woche später führte das Team außerdem eine weitere Startsequenz der Ariane 6 auf der Startrampe in Französisch-Guayana durch.

Die Ariane 6 ist das Nachfolgemodell der Ariane 5. Sie soll **Satelliten** für kommerzielle und öffentliche Auftraggeber ins All **befördern** und ist deutlich günstiger als ihre Vorgängerin. Europas Raumfahrt ist mit Blick auf Trägerraketen derzeit in einer schwierigen Lage. Die letzte Ariane 5 hob Anfang Juli in den Weltraum ab. Seitdem hat die ESA keine eigenen Mittel mehr, um große Satelliten ins All zu bringen. ●

Von der Nordsee ins All: Erste Raketenstarts für Frühjahr 2024 geplant

Im April 2024 soll erstmals eine Rakete von einer neuen mobilen Startplattform in der Nordsee starten. Das kündigte Siegfried Russwurm, Präsident des Bundesverbands der Deutschen Industrie (BDI), im Oktober 2023 auf dem Weltraumkongress des Verbands in Berlin an. Die Demomission bestreitet eine Höhenforschungsrakete des niederländischen Unternehmens T-Minus.

Vier Jahre nach dem Startschuss des Weltraumprojekts des BDI wird das Vorhaben konkret: Eine schwimmende, mobile Abschussrampe der **German Offshore Spaceport Alliance** (GOSA) wird zum Weltraumbahnhof, von dem aus zukünftig europäische Mikrolauncher starten und Satelliten ins All transportieren sollen. Im April 2024 wird im Rahmen einer Demomission erstmals eine Rakete von der mobilen Startplattform in der Nordsee abheben. Die GOSA ist ein privates Konsortium, zu dem etwa das Bremer Raumfahrtunterneh-

men OHB gehört. Die geplante erste Mission ist der nächste Schritt hin zur Umsetzung eines deutschen Weltrauhafens in der Nordsee.

Ziel der Demomission sei zunächst, mit suborbitalen Raketenstarts praktisch-technische Erfahrungen und Know-how zu sammeln, so **Sabine von der Recke**, Mitglied der GOSA-Geschäftsführung. Suborbital bedeutet, dass die Erdumlaufbahn nicht erreicht wird. Die Laufzeit der Demomission beträgt etwa zwei Wochen. In dieser Zeit sei der Start von bis zu **vier Raketen** mit einer maximalen Länge von sieben Metern und einer Flughöhe von bis zu 50 Kilometern geplant.

Heimathafen des Schiffs soll nach BDI-Angaben **Bremerhaven** sein. Der Startpunkt für die Rakete befindet sich im sogenannten **Entenschnabel** der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ), etwa 350 Kilometer vor der Küste. Als Entenschna-



Im April 2024 soll erstmals eine Rakete von der Nordsee aus starten

bel wird der entlegenste Winkel dieser Zone bezeichnet, in der Deutschland noch bestimmte Hoheitsrechte hat. Künftig sollen von der mobilen Plattform in der Nordsee Trägerraketen mit Nutzlasten von bis zu einer Tonne in erdnahe Orbits gebracht werden. Mit der Plattform möchte der BDI auf den steigenden Bedarf des Markts für kommerzielle Kleinsatelliten reagieren. Der Bund will Entwicklung und Bau der Infrastruktur bis 2025 mit zwei Millionen Euro fördern, wie der FDP-Haushaltspolitiker **Frank Schäffler** Ende September 2023 mitteilte. ●

Euclid sendet erste Bilder zur Erde

Spektakuläre Aufnahmen des Perseus-Galaxienhaufens oder des Pferdekopfnebels im Orion-Sternbild: Die europäische Weltraumsonde *Euclid* hat im November 2023 die ersten fünf Bilder übermittelt. Nie zuvor hat ein Weltraumteleskop mit Einzelaufnahmen solch große Abschnitte des Himmels mit einer derartigen Bildschärfe abbilden können.

Die Erwartungen an Euclid sind groß. Das 1,2 Meter große Teleskop mit dem Infrarotspektrograf, das am 1. Juli 2023 gestartet ist, soll in nur sechs Jahren mehr



Galaxien des Perseushaufens sind in der Mitte des Bildes sichtbar und erscheinen als große Galaxien mit Halos. Im Hintergrund befinden sich hunderttausend weiter entfernte Galaxien, deren Farben von Weiß über Gelb bis Rot reichen

als ein Drittel des Himmels durchmustern. Ziel der Sonde der *Europäischen Weltraumorganisation ESA* ist, eine dreidimensionale Karte von der Verteilung der Galaxien im Universum zu erstellen, die sich über zehn Milliarden Lichtjahre erstreckt. Diese Verteilung ähnelt einem gigantischen kosmischen Netz, in dem Galaxienhaufen durch die Schwerkraft wie an Fäden miteinander verbunden zu sein scheinen.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurden Teleskop und Instrumente vor allem darauf ausgerichtet, einen möglichst großen Himmelsabschnitt pro Aufnahme erfassen zu können. Das heißt, dass Euclid im Gegensatz zum *James-Webb-Teleskop*, das extrem genau in die Tiefe blickt, vor allem schneller und mehr beobachtet. Aus der großen Menge an Daten hoffen Forschende zu lernen, wie Dunkle Materie und Dunkle Energie die Gestalt unseres Universums beeinflussen. „Die ersten Bilder übertreffen unsere Erwartungen – und das ist erst der Anfang“, erklärte Dr. Alessandra Roy, Euclid-Projektleiterin in der Deutschen Raumfahrtagentur im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR).



Der Pferdekopfnebel im Orion ist Teil einer großen, kalten Gas- und Staubwolke, die in weiß-orangen Farben sichtbar ist

Bild:ESA / Euclid / Euclid Consortium / NASA, image processing by J.-C. Cuillandre, G. Arnouts; CC BY-SA 3.0 IGO

Eines der fünf Bilder von Euclid ist eine Aufnahme des **Perseus-Galaxienhaufens**. Diese Struktur gehört zu den massereichsten Objekten im Universum und befindet sich circa 240 Millionen Lichtjahre von der Erde entfernt. Röntgenbeobachtungen haben dort bereits Dunkle Materie nachgewiesen. Der Haufen enthält eine riesige Anzahl an Galaxien, die in eine enorme Wolke überhitzten Gases eingebettet sind. Euclid hat in der übermittelten Aufnahme mehr als **50.000 Galaxien** abgebildet, von denen einige noch nie zuvor auf Bildern zu sehen waren. Die Sonde wird zahlreiche Galaxienhaufen wie Perseus über die kosmische Zeit hinweg beobachten und dabei immer mehr über das „dunkle“ Element herausfinden, das sie zusammenhält. ●

ESA startet Initiative für weniger Weltraummüll

Im November 2023 hat die *Europäische Weltraumorganisation ESA* beim Gipfeltreffen in Sevilla ihre *Zero Debris Charta* vorgestellt. Mit der Initiative verfolgt sie das Ziel, die Rückstände im All zu reduzieren und bis 2030 möglichst keine Rückstände mehr in den Erdumlaufbahnen zurückzulassen.

In den letzten Jahren hat der Verkehr im Weltraum stark zugenommen. Während früher vorrangig staatliche Einrichtungen Satelliten gestartet haben, machen sich inzwischen immer mehr **private Firmen** auf den Weg ins All. Insgesamt wurden so in den letzten Jahren mehr Satelliten auf verschiedene Erdumlaufbahnen gebracht als in den restlichen sechs Jahrzehnten der Weltraumforschung. Das hinterlässt Spuren: Winzige Raumfahrtrückstände, kaum größer als ein Millimeter, umkreisen in erstaunlich hoher Anzahl (rund 130 Millionen Partikel) die Erde und bedrohen

gegenwärtige und künftige Satelliten. Dazu kommt eine Vielzahl deutlich größerer Teile, wie Überbleibsel von Raketen oder ganze ausgediente Satelliten.

Aus diesem Grund hat die ESA zusammen mit anderen Organisationen die *Zero Debris Charta* entwickelt, die beim zweitägigen Weltraumgipfel 2023 in Sevilla, Spanien präsentiert wurde. Die Charta könnte in Zukunft sogar Grundlage für Gesetze sein, vergleichbar mit der *Europäischen Menschenrechtskonvention*. Eine Verpflichtung zur Einhaltung gibt es derzeit für die Unterzeichnenden nicht. Vorausgegangen waren monatelange Gespräche, Diskussionen und Workshops. Über 40 Organisationen beteiligten sich so aktiv an der Entwicklung der Charta.

Erste Erfolge gibt es bereits, wie die präzise Entwicklung einer gemeinsamen Vorstellung von Nachhaltigkeit und die Fest-



Die ESA lädt alle interessierten Raumfahrtakteure ein, der Zero Debris Charta beizutreten

Bild: iStock.com/john63

legung gemeinsam erreichbarer Ziele. Zu den bereits beigetretenen Mitgliedern gehören Industrieunternehmen, Regierungsbehörden, internationale Organisationen, Hochschulen und Forschungszentren sowie gemeinnützige Stiftungen wie das *Pariser Friedensforum*. Die ESA lädt ein, Teil der Zero-Debris-Gemeinschaft zu werden und zusammen eine Raumfahrt ohne Rückstände zu realisieren. ●

Airbus Defence and Space baut sechs neue Galileo-Satelliten

Airbus Defence and Space in Immenstaad hat mit dem Bau von sechs Satelliten der zweiten Generation (G2) für das europäische Navigationssystem *Galileo* begonnen. Mit diesem Großprojekt stellt Airbus erstmals in seiner Geschichte Satelliten in Serien-Produktion her.

Bereits beim Bau der ersten Generation der Galileo-Satelliten war Airbus mit an Bord. Mit dieser Erfahrung und einem Team aus 130 Raumfahrt ingenieurinnen und -ingenieuren sowie Technikerinnen und Technikern geht es nun an die Verwirklichung des Großprojekts. Die *Europäische Weltraumorganisation ESA* hat den Bau der Satelliten im Auftrag der EU vergeben. Sechs weitere neue Galileo-Satelliten baut der Mitbewerber *Thales Alenia Space (TAS)* in Italien. Insgesamt haben die Aufträge ein Volumen von knapp 1,5 Milliarden Euro.

Der erste Satellit stand im Dezember 2023 als Rohbau bereits im Reinraum. Anfang 2024 soll schon am zweiten Satelliten geschraubt werden. Alle sechs Galileo-G2-Satelliten sollen innerhalb von zwei Jahren



Bild: Airbus

Airbus baut sechs Galileo-Satelliten der zweiten Generation in Serie

fertiggestellt werden und sich schrittweise in die bestehende Satelliten-Konstellation aus 28 Galileo-Satelliten der ersten Generation einfügen.

Nach Angaben von Airbus werden die G2-Satelliten für eine höhere Genauigkeit mit verbesserten **Navigationsantennen** ausgestattet. Die mehr als zwei Tonnen schweren Satelliten erhalten sechs statt bislang vier verbesserte Atomuhren sowie **Intersatellitenverbindungen**. Dies ermöglicht die Kommunikation und den Abgleich der Satelliten untereinander. Diese Verbesserung soll den Nutzenden eine Präzisionspositionierung bis auf zehn Zentimeter genau ermöglichen. Die G2-Satelliten wer-

den zudem mit fortschritten Schutzmechanismen gegen Störsignale und sogenanntes *Spoofing*, einer IT-Angriffstechnik mittels Täuschung, ausgestattet sein. Außerdem haben die Satelliten zum ersten Mal einen elektrischen Antrieb.

Galileo wurde für die **zivile Nutzung** entwickelt und realisiert, es gibt aber auch strategische, also militärische Anwendungen. Der weltumspannende europäische Ortungsdienst steht in Konkurrenz zu den Navigationssystemen der Amerikaner (GPS), Russen (GLONASS) und Chinesen (Beidou). Die Satelliten werden laut Airbus 15 Jahre lang in der Umlaufbahn betrieben. ●

Kein Start für Vega-C bis Ende 2024

Die **europäische Trägerrakete Vega-C** muss länger am Boden bleiben als geplant. Das haben die *Europäische Weltraumorganisation ESA*, der Raketenbauer *Avio* und der Startdienstleister *Ariane-space* im Oktober 2023 bestätigt. Nach dem Fehlschlag bei einem Testlauf des *Zefiro-40-Triebwerks* Ende Juni 2023 geht die ESA nun davon aus, dass die Vega-C erst im vierten Quartal 2024 wieder an den Start gehen wird. Grund dafür ist, dass es sich bei dem Fehlschlag um andere Probleme handelt als beim Fehlstart der Rakete im Dezember 2022.

Die Trägerrakete kam bei ihrem ersten kommerziellen Flug am 21. Dezember 2022 wenige Minuten nach ihrem Start wegen eines **technischen Problems** am Triebwerk von ihrem Kurs ab. Eine Untersuchungskommission ordnete daraufhin Triebwerkstests mit einem neuen Carbonwerkstoff an. Die Tests im Juni 2023 im italienischen Salto di Quirra sollten die Qualifizierung

des neuen Werkstoffs bedeuten und den Weg für eine schnelle Wiederaufnahme des Flugbetriebs ebnen. Allerdings versagte der Motor auf dem Teststand erneut und die Schubdüse wurde schwer beschädigt. Eine neue Untersuchungskommission stellte als Ursache eine Kombination aus der Geometrie des betroffenen Bauteils und seiner thermomechanischen Eigenschaften fest, die zu den Schäden an den benachbarten Komponenten geführt hatten.

Die von der ESA geführte Kommission hat angeordnet, dass die Schubdüse neu konzipiert und numerische Modelle entwickelt werden müssen, um das Verhalten der Düse vorhersagen zu können. Außerdem muss der neue Motor mindestens zwei Testzündungen überstehen. Laut ESA belaufen sich die Kosten der Maßnahmen auf 25 bis 30 Millionen Euro, die aber aus Mitteln des Vega-C-Programms getragen werden.

Die Vega-C ist eine Weiterentwicklung der Vega-Rakete, die seit 2012 leichte Satelliten ins All bringt. Vom Ausfall der Rakete sind neben kommerziellen Satellitenbetreibern auch viele Institutionen betroffen. Dazu gehört auch der Erdbeobachtungssatellit *Sentinel-1C* der EU-Kommission. Dieser hätte in der ersten Jahreshälfte 2023 mit einer -Rakete starten sollen und steht nun ohne eine Mitfluggelegenheit da. Die Vorgängerrakete, Vega, wird nicht mehr produziert. ●



Bild: ESA

Der nächste Start einer Vega-C findet frühestens Ende 2024 statt

Ergebnisse der DGLR-Senatswahl

Das amtliche Endergebnis der Wahl des Senats der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR) für die Amtsperiode 1. Januar 2024 bis 31. Dezember 2026 (§ 9, Ziffer 1.1 der Satzung) liegt vor.

Die Feststellung des Ergebnisses der Senatswahl erfolgte am 10. Oktober 2023. Mitglieder des Wahlausschusses waren vor Ort **Jörg Feustel-Büechl, Prof. Dieter Schmitt und Prof. Dr. Joachim Szodruch**. Die Wahl konnte sowohl postalisch als auch elektronisch durchgeführt werden.

Die Wahlbeteiligung betrug 22,54 Prozent. Von den 43 Kandidatinnen und Kandidaten, die sich für die Wahl zur Verfügung gestellt hatten, konnten laut Satzung 30 gewählt werden.

Das Ergebnis der Senatswahl wurde den DGLR-Mitgliedern sowohl im Mitgliederbereich der DGLR-Website als auch in der DGLR-Mitgliederversammlung am 23. November 2023 mitgeteilt, die in der Vertretung des Landes Hessen beim Bund in Berlin stattfand. ●



Bild: DGLR

Jörg Feustel-Büechl und Prof. Dieter Schmitt bei der Auszählung der Wahlzettel in der DGLR-Geschäftsstelle

DGLR-SENAT VOM 1. JANUAR 2024 BIS 31. DEZEMBER 2026

Dipl.-Ing. Jürgen Ackermann
Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Hedi Bachmann
Prof. Dr.-Ing. Andreas Bardenhagen
Prof. Dr.-Ing. Christian Breitsamter
Prof. Dr. John P. Burrows FRS
Prof. Dr.-Ing. Stefanos Fasoulas
Jens Freymuth M. Sc.
Dr.-Ing. Holger Friehmelt
Dipl.-Ing., MBA Roland Gerhards
Dr.-Ing. Cornelia Grabe

Prof. Rolf Henke
Dr.-Ing. Cornelia Hillenherms
Prof. Dr.-Ing. Mirko Hornung
Dr. Bianca Hörsch
Vanessa R. Kempen Cand. M. Sc.
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Klenner
Prof. Dr.-Ing. Uwe Klingauf
Dipl.-Ing. Alexander Krein
Dipl.-Ing. Andreas Lindenthal
Prof. Dr.-Ing. Robert Luckner

Anna Maaßen M. A.
Prof. Dr.-Ing. Peter Middendorf
Dr.-Ing. Detlef Müller-Wiesner
Prof. Dr.-Ing. Rolf Radespiel
Prof. Dr. Markus Rapp
Dipl.-Ing. Daniel Reckzeh
Dr.-Ing. E. h. Thomas Reiter
Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Katharina Schäfer
Prof. Dr.-Ing. Eike Stumpf
Dr.-Ing. Carsten Wiedemann

Dr. Thomas Reiter erhält die DGLR-Ehrenmitgliedschaft

Am 23. November 2023 hat die Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR) den deutschen Astronauten **Dr. Thomas Reiter** zu ihrem Ehrenmitglied ernannt. Reiter ist seit fast 40 Jahren DGLR-Mitglied und hat neben seinen Verdiensten für die Raumfahrt in Europa mit seinem Engagement auch das DGLR-Netzwerk nachhaltig unterstützt und gefördert. Die Ehrenmitgliedschaft wird an Mitglieder verliehen, die sich durch eine langjährige und außergewöhnlich verdienstvolle Mitarbeit in der DGLR ausgezeichnet haben. Die Ehrenmitgliedschaft übergab DGLR-Präsident **Roland Gerhards** im Rahmen des DGLR-Jahresempfangs. Der ehemalige Generaldirektor der Europäischen Weltraumorganisation **ESA, Prof. Dr. Jan Wörner**, hielt die Laudatio.

Dr. Thomas Reiter ist seit Anfang 1984 DGLR-Mitglied. Von 2007 bis 2012 war er Teil des DGLR-Präsidiums und von 2009 bis 2011 Mitglied im Senat – eine Position, die er Anfang 2021 wieder aufgenommen hat. In seiner Zeit als DGLR-Mitglied hat Reiter an vielen nationalen und internatio-

nalen DGLR-Veranstaltungen und Jahrestagungen aktiv mitgewirkt. Durch sein eigenes Netzwerk und sein Fachwissen hat er die DGLR und ihre Mitglieder nachhaltig unterstützt. 2017 erhielt Reiter bereits die **Eugen-Sänger-Medaille** der DGLR für seine hervorragenden Verdienste um die Raumfahrt.

Thomas Reiter studierte **Luft- und Raumfahrttechnik** an der Universität der Bundeswehr München. Nach seinem Abschluss 1982 durchlief er im US-amerikanischen Texas die Ausbildung zum **Jetpiloten**. 1990 kehrte er nach Deutschland zurück und wurde in Manching und Boscombe Down als Testpilot ausgebildet. 1992 setzte sich Reiter als Kandidat für die zweite **ESA-Astronautengruppe** unter 22.000 Bewerbernden durch. 1995 startete er an Bord einer Sojus-Kapsel mit zwei Kosmonauten zur russischen Raumstation **Mir**, wo er zum ersten deutschen Raumfahrer wurde, der einen **Weltraumausstieg** unternahm. Nach 179 Tagen im All landete er schließlich wieder auf der Erde. Es folgten verschiedene Projekte für die **ESA**. Am 4. Juli 2006

startete Reiter als Flugingenieur zur **Internationalen Raumstation ISS**. 166 Tage verbrachte er im All.

Nach seiner aktiven Laufbahn als Astronaut wurde Thomas Reiter 2007 in den **Vorstand des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR)** berufen. Von April 2011 bis Dezember 2015 war er **Leiter des ESA-Direktorats für astronautische Raumfahrt und Missionsbetrieb** und von 2016 bis 2021 **ESA-Koordinator für internationale Agenturen und Berater des ESA-Generaldirektors**. ●



Bild: DGLR

Prof. Dr. Jan Wörner, Dr. Thomas Reiter und Roland Gerhards (v. l. n. r.) bei der Übergabe der Ehrenmitgliedschaft auf dem DGLR-Jahresempfang



MAGAZIN DIGITAL

Lesen Sie die „Luft- & Raumfahrt“ auch online!

Alle Ausgaben, jederzeit und überall verfügbar in Ihrem Mitgliederbereich unter dglr.de/mitgliederbereich/login – als ePaper und PDF.

Sie haben noch keinen Zugang zum Mitgliederbereich? Als DGLR-Mitglied können Sie sich kostenlos registrieren. Fordern Sie einfach jetzt Ihre Zugangsdaten unter dglr.de/mitgliederbereich/login an.

Ausgabe 1

DGLR

Luft- & Raumfahrt

Informieren • Vernetzen • Fördern

Ausgabe 2 / April – Juni 2023 / ISSN 073-6264 B 13716 / EUR 5,- / CHF 9,-

DGLR

Luft- & Raumfahrt

Informieren • Vernetzen • Fördern

„Bridging the Gap“
Wie lässt sich schnell
Traumstart
AeroSHAR
Heinrich-
Von Satelliten
Ein hyperspektraler Blick auf die
Erde – Anwendungen der Daten des
EnMAP-Satelliten
Megatrend Wasserstoff – Entwicklungen
Von Satelliten

DGLR

Mit hoher Kohlenstoffeffizienz zu preiswertem synthetischen Kerosin?



Auf dem Weg zu weniger Emissionen im Flugverkehr ist die Erzeugung preiswerten synthetischen Kerosins eine Schlüsseltechnologie. Für eine großskalige Herstellung von SAF (*Sustainable Aviation Fuel*) ist kostengünstiger, CO₂-neutraler Strom sehr wichtig. Was jedoch weniger bekannt ist: Auch der Kohlenstoffeffizienz kommt eine zentrale Rolle zu.

Um die CO₂-Emissionen des Luftverkehrs zu mindern, wird für Kurz- und Mittelstrecken zukünftig möglicherweise auch **Wasserstoff** als Energieträger in Frage kommen. Für den Langstreckenflugverkehr ist der Einsatz von **synthetischem Kerosin** mit hoher Wahrscheinlichkeit alternativlos. Die zentrale Herausforderung liegt darin, den Herstellungspreis von SAF zu senken, um den Markthochlauf zu beschleunigen. SAF kann mithilfe verschiedener Technologien hergestellt werden. Um die Kosten zu senken, gilt derzeit die preiswerte Erzeugung des für die Synthese notwendigen klimaneutralen Wasserstoffs aus CO₂-neutralem Strom als wichtigster Hebel. Dabei gerät oft in Vergessenheit, dass die Synthese neben einer Wasserstoff- auch eine **Kohlenstoffquelle** erfordert. Die Kosten von Kohlenstoff in einem CO₂-armen Energiesystem der Zukunft sind schwer zu prognostizieren und stellen einen bedeutsamen Risikofaktor bei der Vorhersage künftiger SAF-Kosten dar. Aus diesem Grund ist es wichtig, die Kohlenstoffeffizienz als Indikator für künftige Kostenrisiken beim SAF-Hochlauf genauer zu betrachten.

Wo kommt der Kohlenstoff her?

Öffentliche Aussagen zum Kohlenstoff für die Treibstoffsynthese sind ein Musterbeispiel für irreführende Wissenschaftskommunikation. Dabei werden regelmäßig Treibhausgasbilanzen im Zusammenhang mit Biomasse vernachlässigt, Industrieabgase fälschlicherweise als langfristige Kohlenstoffquellen deklariert und die Kosten für CO₂-Direktabscheidung aus der Luft (*Direct Air Capture, DAC*) intransparent beschrieben. Deshalb müssen Kohlenstoffquellen und die Gründe für ihre Knappheit für SAF-Analysen klar dargestellt werden.

In einem hypothetischen, CO₂-neutralen Energiesystem existieren grundsätzlich **drei Kohlenstoffquellen**: Biomasse, Punktquellen

und Luft. Alle drei sind mit Verfügbarkeits- und somit Kostenrisiken verbunden. **Biomasse** besitzt einerseits die vorteilhafte Eigenschaft, nicht nur Kohlenstoff, sondern auch Wasserstoff zu enthalten. Biomasse aus landwirtschaftlicher Produktion hat andererseits den Nachteil, derzeit nicht klimaneutral zu sein. Denn Düngemittel werden heute aus grauem Wasserstoff und somit de facto aus fossilem Erdgas hergestellt. Hinzu kommt der Treibhausgas-Fußabdruck durch Lachgasemissionen aus dem Boden, landwirtschaftlichen Maschinen und Transport. In einem dekarbonisierten Energiesystem wird landwirtschaftliche Biomasse aus grünem Wasserstoff deshalb mit Kostenrisiken verbunden sein. **Großkalige CO₂-Punktquellen** wie zum Beispiel Hochöfen oder Kohlekraftwerke besitzen den Vorteil einer hohen CO₂-Konzentration. Sie werden in CO₂-neutralen Energiesystemen jedoch nicht zur Verfügung stehen. DAC ist nach heutigem Stand der Technik mit Preisen in der Größenordnung von 1.000 Euro pro Tonne CO₂ nicht wettbewerbsfähig. Auch gibt es keinen verlässlichen Technologiepfad zu preiswerter CO₂-Abscheidung für weniger als 100 Euro pro Tonne CO₂. Dies ist unter anderem auf den hohen Energiebedarf von DAC zurückzuführen. Außerdem ist DAC beim derzeitigen deutschen Strommix nicht CO₂-neutral.

Das zeigt, dass preisgünstiger Kohlenstoff in Zukunft ein knappes Gut sein wird. Synthesetechnologien werden dann eine schnelle Preisdegression erleben, wenn sie möglichst effizient Gebrauch von dieser knappen Ressource machen.

Was ist Kohlenstoffeffizienz?

Die Kohlenstoffeffizienz beschreibt das Verhältnis der Zahl der Kohlenstoffatome im Endprodukt relativ zum Ausgangsprodukt. Sie liegt zwischen Null und Eins. Eine Kohlenstoffeffizienz in der Nähe von Eins bedeutet, dass die meisten Kohlenstoffatome des Ausgangsstoffs im Endprodukt ankommen und die Ressource Kohlenstoff somit gut ausgenutzt wird.

Für die Rolle von SAF auf künftigen Märkten sind der Preis in Euro pro Kilogramm sowie die Emissionseinsparung in Kilogramm CO₂-Äquivalente pro Kilogramm Kerosin von Bedeutung. Wieso ist die Betrachtung der Kohlenstoffeffizienz im Rahmen technökonomischer Analysen trotzdem wichtig? Da Kohlenstoff in einem Energiesystem ohne nennenswerte fossile Quellen vermutlich eine knappe und teure Ressource sein wird, liefert die Kohlenstoffeffizienz einen wichtigen Anhaltspunkt dafür, inwie weit der Preis von SAF von Änderungen des Kohlenstoffpreises beeinflusst wird. Prozesse mit hoher Kohlenstoffeffizienz werden weniger von der Volatilität von Kohlenstoffpreisen betroffen sein als solche mit niedriger Kohlenstoffeffizienz. Zur Veranschaulichung des Wechselspiels zwischen Preis und Kohlenstoffeffizienz dient der folgende Vergleich:

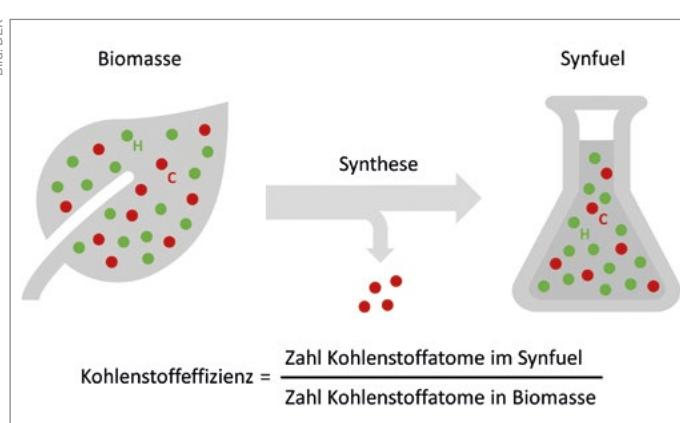
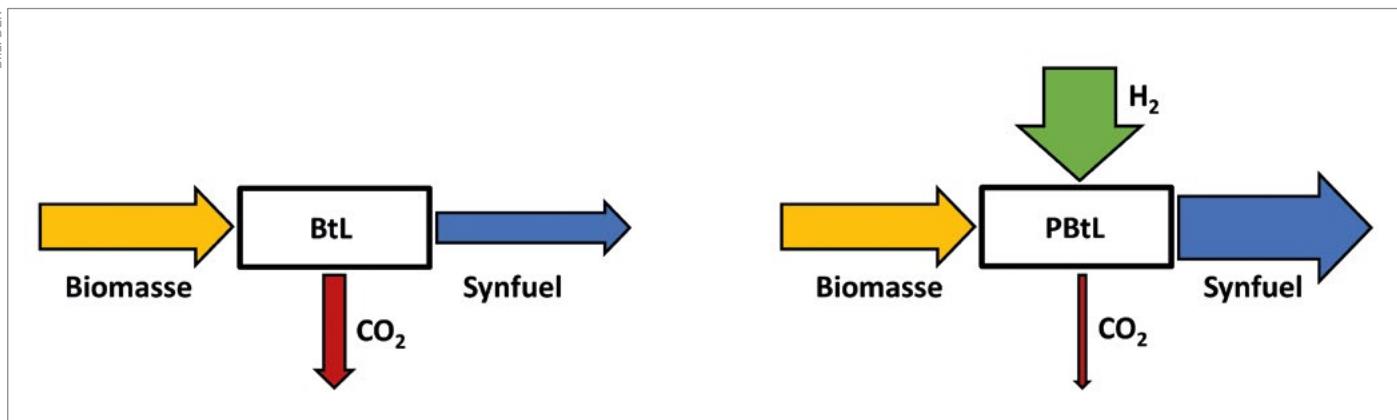


Illustration der Kohlenstoffeffizienz am Beispiel der Herstellung synthetischen Kerosins aus Biomasse. Die Definition lässt sich sinngemäß auf Kohlenstoffatome aus Industrieabgasen (Punktquellen) und CO₂-Abscheidung aus der Luft (DAC) übertragen. In dieser Abbildung beträgt die Kohlenstoffeffizienz 0,6 oder 60 Prozent

Kohlenstoffeffizientes Power-and-Biomass-to-Liquid

Beim Syntheseprozess **Biomass-to-Liquid (BtL)** dient Biomasse als alleiniger Ausgangsstoff. Biomasse besteht im Wesentlichen aus Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff. Flüssige Kohlenwasserstoffe setzen sich hingegen aus Kohlenstoff und Wasserstoff zusammen. Bei der Entfernung des Sauerstoffs aus der Biomasse im Syntheseprozess entsteht als Abgas CO₂. Dadurch



Schematische Darstellung der Prozesse Biomass-to-Liquid (BtL, links) und Power-and-Biomass-to-Liquid (PBtL, rechts). Die Pfeildicken sind nicht maßstabsgerecht und dienen nur der qualitativen Veranschaulichung

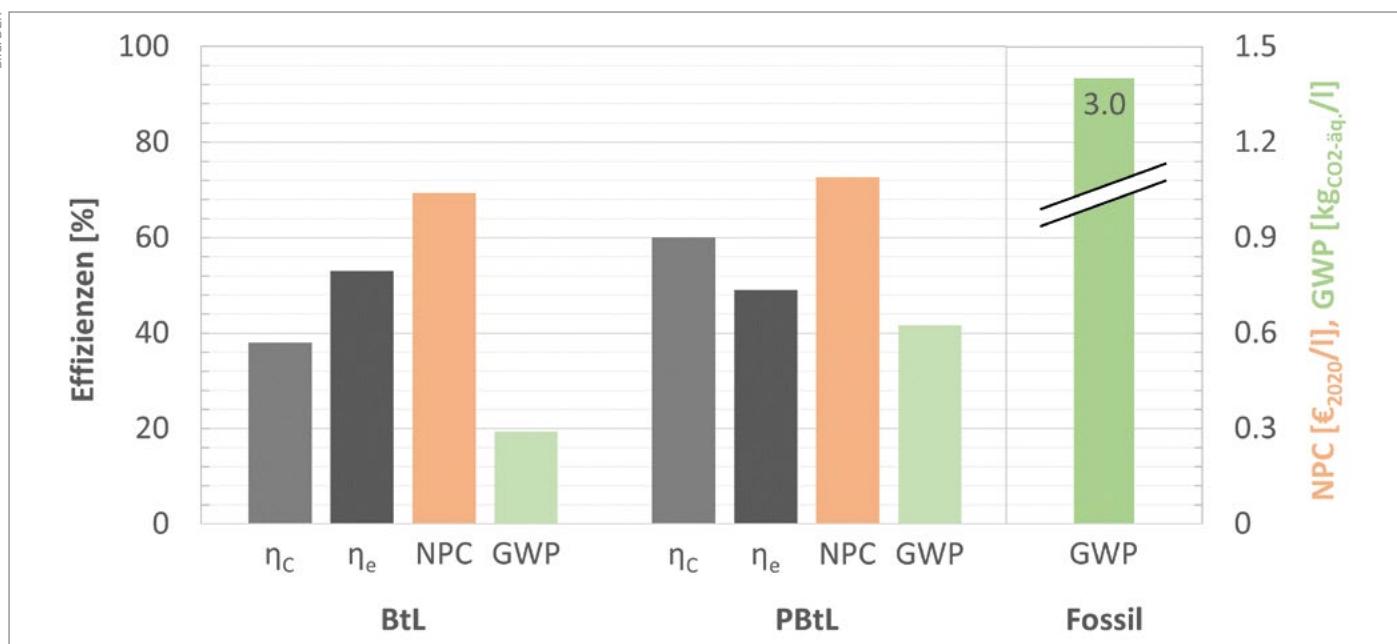
gehen wertvolle Kohlenstoffatome verloren. Die Kohlenstoffeffizienz von BtL liegt deshalb selbst bei idealer Prozessführung bei weniger als 50 Prozent.

In einem **Power-and-Biomass-to-Liquid-Prozess (PBtL)** wird zusätzlich zu Biomasse Wasserstoff als Ausgangsprodukt eingesetzt. Der Wasserstoff bindet den Sauerstoff aus der Biomasse und erhöht das Verhältnis von Wasserstoff zu Kohlenstoff auf etwa zwei zu eins. Deshalb entsteht als Abfall nicht CO₂, sondern im Wesentlichen Wasserdampf. So verbleiben die wertvollen Kohlenstoffmoleküle im Syntheseprozess. Dieser Prozess kann deshalb eine theoretische Kohlenstoffeffizienz von 100 Prozent erreichen.

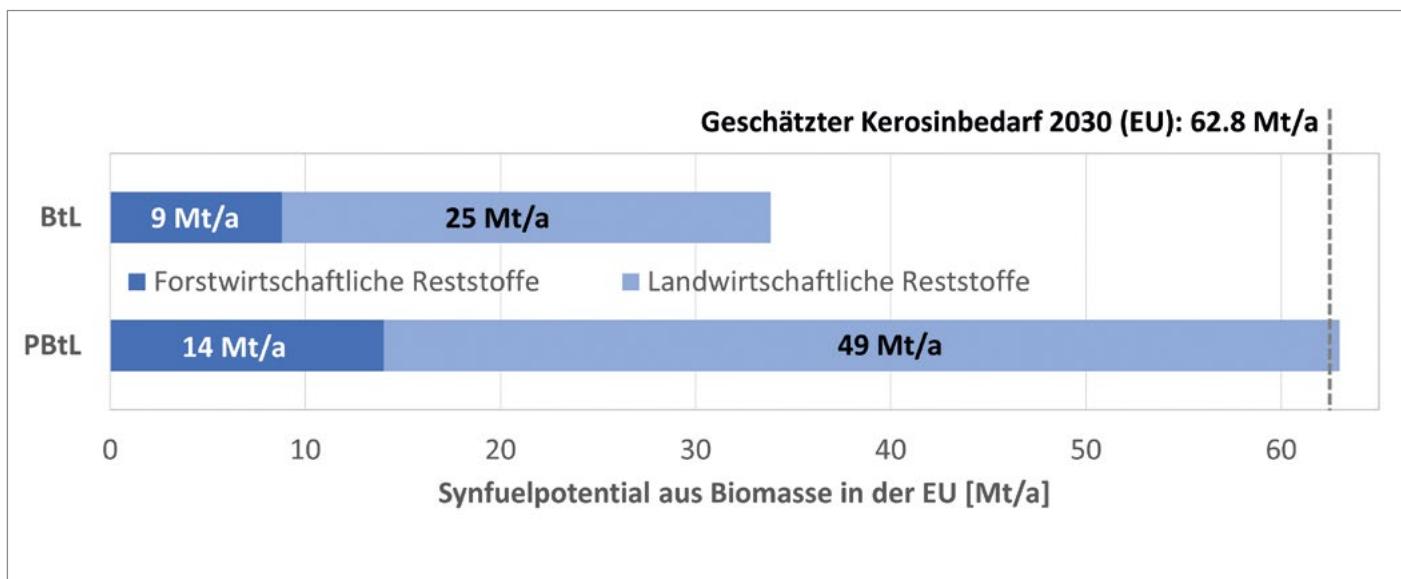
Im Rahmen des EU-Projekts **FLEXCHX** (*Flexible Combined Production of Power, Heat and Transport Fuels from Renewable Energy Sources*) wurde unter der Leitung des *Technischen Forschungszentrums Finnland VTT* die technische Machbarkeit des Power-and-Biomass-to-Liquid-Prozesses nachgewiesen. Ergänzend dazu wurde eine vergleichende Analyse von Kosten, Umwelt-

wirkung und Kohlenstoffeffizienzen für die Herstellung von SAF in zwei repräsentativen Prozessen durchgeführt – einem BtL- und einem PBtL-Prozess mit Holz als Ausgangsstoff. Ziel des Projekts war die flexible, gleichzeitige Erzeugung von Strom, Wärme und Biotreibstoffen auf Basis der Biomassevergasung in einem **SXB-Vergaser (Staged Fixed Bed)** und anschließender **Fischer-Tropsch-Synthese**.

Bei **Vergleich** der Werte für die Kohlenstoffeffizienz ist erkennbar, dass PBtL dank der Wasserstoffzufuhr etwa die anderthalbfache Kohlenstoffeffizienz des BtL-Prozesses besitzt. Daraus lässt sich ableiten, dass Hersteller von SAF aus PBtL von steigenden Kohlenstoffpreisen weniger stark betroffen sein werden als BtL-Hersteller. Die Energieeffizienz unterscheidet sich zwischen beiden Prozessen nur um vier Prozentpunkte und kann somit als näherungsweise gleich betrachtet werden. Da PBtL weniger Biomasse und mehr Strom erfordert als BtL, folgt daraus, dass PBtL von künftigen Preisdegressionen von CO₂-neutralem Strom stärker profitieren würde als BtL. Die Herstellungskosten der beiden



Vergleich von Kohlenstoffeffizienz η_C , Energieeffizienz η_e , Herstellungskosten NPC (in Euro pro Liter SAF im Jahr 2020) und Erderwärmungspotenzial GWP (Kilogramm CO₂-Äquivalente pro Liter SAF) eines BtL-Prozesses mit einem PBtL-Prozess aus dem Projekt FLEXCHX. Die Energieeffizienz η_e ist als der Quotient zwischen der im Treibstoff enthaltenen chemischen Energie und der Summe der für die Herstellung eingesetzten Energien definiert



Vergleichende Darstellung des Potenzials zur Herstellung von SAF aus BtL und PBtL. Die hohe Kohlenstoffeffizienz von PBtL führt dazu, dass im Prinzip der Bedarf der Luftfahrt der EU gedeckt werden könnte

Syntheseverfahren sind bis auf einige Prozentpunkte gleich. Sie wurden zu etwa einem Euro pro Liter berechnet und liegen damit signifikant unter denen von E-Fuels. Letztere waren im Rahmen einer Dissertation von Daniel König 2016 am *Institut für Technische Thermodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR)* unter der Annahme von Offshore-Windstromkosten in Höhe von 14 Euro pro Megawattstunde und einem CO₂-Einkaufspreis von 1,72 Euro pro Tonne CO₂ zu 3,38 Euro pro Kilogramm (2,38 Euro pro Liter) berechnet worden. Der signifikante Unterschied des Erderwärmungspotenzials, das für das PBtL-Verfahren etwa doppelt so hoch ist wie für BtL, beruht auf dem Erderwärmungspotenzial des im Projekt betrachteten finnischen Netzstroms. Da der BtL-Prozess nur 15 Prozent der elektrischen Energie des PBtL-Prozesses benötigt, fällt das Erderwärmungspotenzial des Stroms bei Letzterem stärker ins Gewicht.

Potenziale für PBtL-Kerosin

Für die Emissionsminderung des europäischen Flugverkehrs ist es wichtig, das Potenzial für SAF zu analysieren. Die höhere Kohlenstoffeffizienz von PBtL gegenüber BtL wirkt sich vorteilhaft auf die mögliche Produktionsmenge von SAF aus. In der EU fallen laut externen Studien rund 40 Millionen Tonnen pro Jahr an forstwirtschaftlichen und 139 Millionen Tonnen pro Jahr an landwirtschaftlichen Reststoffen an, die zur SAF-Herstellung genutzt werden könnten. Daraus ergeben sich mit dem PBtL-Prozess 63 Millionen Tonnen SAF pro Jahr, die den geschätzten Kerosinbedarf der EU für das Jahr 2030 decken würden. Beim BtL-Prozess sind es hingegen aufgrund der geringeren Kohlenstoffeffizienz nur etwas mehr als die Hälfte des geschätzten Bedarfs. Auch das zeigt: PBtL kann die knappe Ressource Biomasse erheblich besser auszunutzen als BtL.

Wege zum umweltfreundlicheren Flugverkehr

Um die CO₂-Emissionen des Luftverkehrs zu reduzieren, gibt es grundsätzlich die Möglichkeiten des Fliegens mit synthetischem

Kerosin oder des Fliegens mit klimaneutralem Wasserstoff. Für SAF spielen Kohlenstoffquellen und speziell die Kohlenstoffeffizienz als Indikator für künftige Kostenentwicklungen eine zentrale Rolle. Welche Auswirkungen hat das auf die Perspektiven von SAF?

Weil CO₂-Punktquellen in einem postfossilen Energiesystem nicht in nennenswertem Maße vorhanden sein werden und für DAC kein verlässlicher Technologiepfad zu einem wettbewerbsfähigen CO₂-Preis von weniger als 100 Euro pro Tonne existiert, wird Biomasse mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Schlüsselrolle als Ausgangsstoff für die Synthese von SAF spielen.

Bei Prognosen über die Kostenentwicklung von SAF sind neben Energie- maßgeblich Kohlenstoffkosten zu berücksichtigen. Biomasse aus landwirtschaftlichen Quellen wird in einem CO₂-neutralen Energiesystem vermutlich teurer werden als heute, weil Düngemittel aus grünem Ammoniak hergestellt werden müssten. Inwieweit Biomasse aus forstwirtschaftlichen Quellen klimaneutral ist und in großem Maßstab zum Einsatz kommen wird, ist in der Fachwelt strittig. Das zeigt, dass perspektivisch Syntheseverfahren mit hoher Kohlenstoffeffizienz einen kommerziellen Vorteil und eine schnellere Markteinführung versprechen. ●

DIE AUTORINNEN UND AUTOREN

Die Autorinnen und Autoren sind in folgenden Funktionen am Institut für Technische Thermodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt tätig:

Prof. Dr. André D. Thess (Institutsdirektor), **Julia Weyand** (Doktorandin), **Felix Habermeyer** (Doktorand), **Dr. Ralph-Uwe Dietrich** (Gruppenleiter Technoökonomische Analyse).

Eine Literaturliste ist auf Anfrage bei Prof. Dr. André Thess (andre.thess@dlr.de) erhältlich.

Innovationen für den Klimaschutz

Förderung richtungsweisender Innovationen für Klimaneutralität durch LuFo VI-3 Klima

Bild: DLR Projektträger Luftfahrtforschung



Projektträger
Luftfahrtforschung

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Bild: DLR Projektträger Luftfahrtforschung

Grafische Darstellung des geplanten fliegenden Testlabors für Wasserstofftechnologien

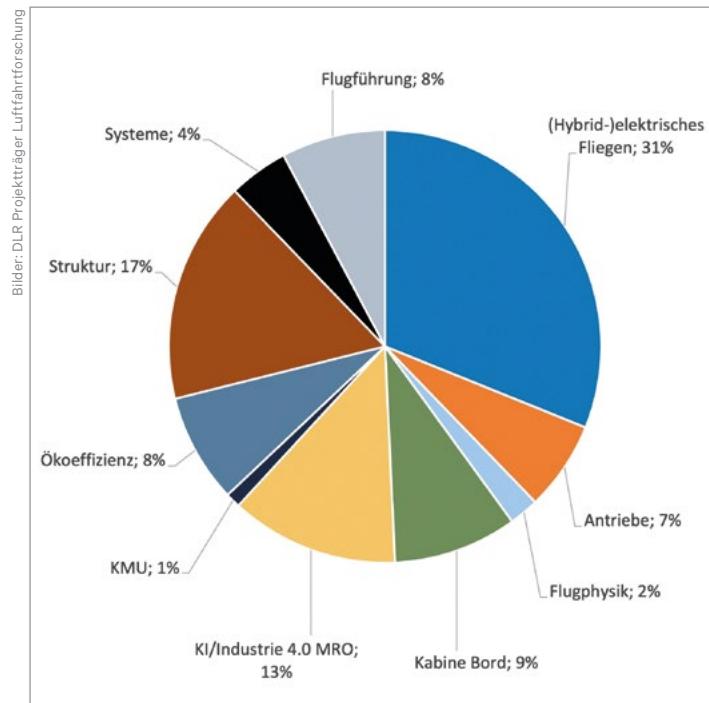
Er ist ein Wegbereiter hin zu einer klimafreundlichen Luftfahrt: der Förderaufruf des nationalen Luftfahrtforschungsprogramms *LuFo VI-3 Klima*. Er startete im April 2022 mit den ambitionierten Zielen, gemeinsam mit der Luftfahrtbranche die ersten Schritte auf dem Weg zur Luftfahrt der Zukunft zu beschreiten und zeitgleich den durch die Corona-krise geschwächten Wirtschaftsstandort Deutschland zu stärken. Der Start des Förderprogramms war überwältigend. Mit 348 eingereichten Skizzen zu qualitativ hochwertigen Technologien für eine ökoeffiziente Mobilität, Digitalisierung und künstliche Intelligenz sowie innovative Antriebssysteme wurde das Potenzial deutlich, das im Luftfahrtforschungsstandort Deutschland steckt. Gefördert wird der Aufruf durch das *Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)*.

Begleitend zum offiziellen Förderaufruf ist ein weit verzweigtes Netzwerk an Forschungspartnern entstanden, die sich im Netzwerk *Luftfahrtforschung* zusammengeschlossen haben. Diese Plattform bietet den Netzwerkpartnerinnen und -partnern spannende Expertengespräche, filterbare Suchfunktionen zu Forschungsthemen und die Möglichkeit, sich mit anderen Teilnehmenden der Luftfahrtforschung zu vernetzen. Zu diesem kostenlosen Service des Projektträgers *Luftfahrtforschung* haben sich im Laufe des LuFo-VI-3-Klima-Aufrufs circa 700 Personen angemeldet. Sie konnten den fachlichen Austausch im Bereich der Luftfahrtforschung nutzen, um passende Forschungspartner für ihre innovativen Forschungsideen im Bereich der Luftfahrt zu finden. Sowohl kleine und mittlere Unternehmen (KMU) als auch Großunternehmen, Universitäten und Forschungseinrichtungen der Luftfahrtbranche können sich hier anmelden, um gemeinsam an Lösungen für eine klimaneutrale Luftfahrt zu arbeiten.

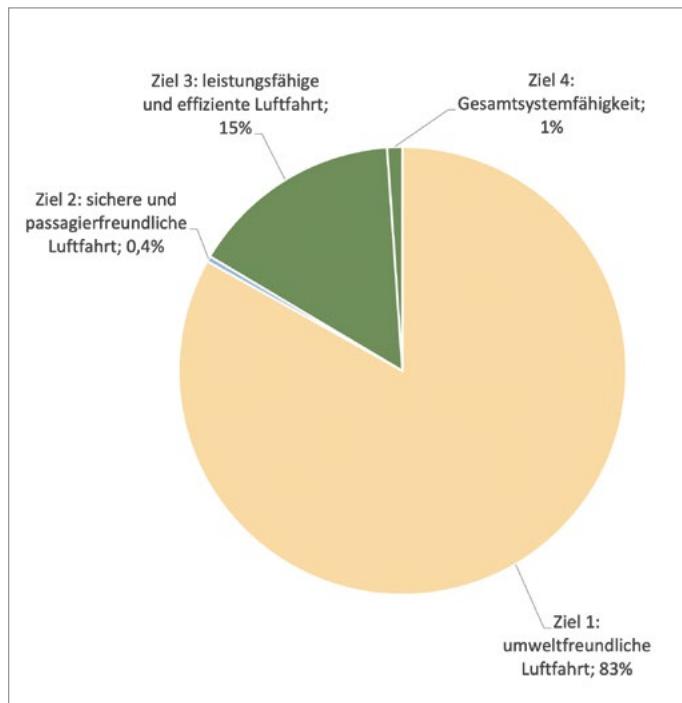
Weichenstellung für den Klimaschutz in der Luftfahrt

Um bereits in der Vorauswahl geeigneter Forschungsvorhaben dem Klimaschutz besonders Rechnung zu tragen, hat der Projektträger Luftfahrtforschung für diesen Aufruf ein spezielles Softwaretool entwickelt. Ziel war hierbei, den externen Gutachtern von Forschungsskizzen eine geeignete Abschätzung zur Verfügung zu stellen, anhand derer die konkret zu erwartende mittelfristige Klimawirkung des jeweiligen Forschungsvorhabens bewertet werden kann.

Aufbauend auf verschiedenen bestehenden Prognosen zur Entwicklung des Flugverkehrs und bezogen auf die gesamte Transportleistung sowie die erwartete zukünftige Verteilung auf unterschiedliche Energieträger wurde ein **Basisszenario** moduliert. Für dieses Szenario wurden dann für jedes einzelne Forschungsvorhaben in einer „What-if“-Analyse die Veränderung der Klimawirkung bei einer angenommenen Umsetzung des Vorhabens berechnet (zum Beispiel durch Reduzierung des Flugzeuggewichts oder Erhöhung der aerodynamischen Güte). Eine besondere Herausforderung war hierbei die Berücksichtigung des breiten Spektrums unterschiedlicher Möglichkeiten, die Klimawirkung der Luftfahrt zu reduzieren. So wurden neben der Senkung des individuellen operativen Energieverbrauchs neuer Flugzeugmuster auch die Senkung von Fertigungsenergien, die beschleunigte Technologieeinführung, beispielsweise durch neue Entwurfsprogramme, oder auch optimierte Flugrouten und Nicht-CO₂-Effekte berücksichtigt. In die finale Bewertung der Umweltwirkung flossen zusätzlich die Faktoren Fluglärm und geschlossene Stoffkreisläufe mit ein.



Anzahl der Vorhaben pro Themenbereich



Fördervolumen der Vorhaben pro politisches Ziel

Das neue Tool zur Klimabewertung wurde in der Skizzenphase des aktuellen Aufrufs positiv durch die Gutachtertenden aufgenommen. Im Ergebnis konnte eine deutlich bessere Vergleichbarkeit der Klimabewertungen untereinander gegenüber dem Vorgängeraufruf festgestellt werden. Somit kann die Klimawirkung der Projekte nun bereits im Vorfeld abgeschätzt werden.

Der Klimawandel wartet nicht

Die Luftfahrtforschung darf keine Zeit verlieren. Deshalb wurde im Rahmen von LuFo VI-3 Klima zudem ein neues Konzept eingeführt, mit dem eine frühzeitige Erprobung erfolgversprechender Technologien für eine klimaneutrale Luftfahrt möglich wird. Um das gemeinsame Ziel der klimaneutralen Luftfahrt zu erreichen, fördert das BMWK die beschleunigte Entwicklung entsprechender Technologien im Rahmen von *UpLift*. Die Forschungslandschaft von UpLift besteht aus einer **fliegenden Versuchsplattform** (*Dornier 328*) sowie einer komplementären **Bodentestumgebung** und ermöglicht die beschleunigte Entwicklung von Technologiebausteinen durch die Möglichkeit frühzeitiger Versuchskampagnen unter luftfahrtrelevanten Einsatzbedingungen schon im Entwicklungsprozess.

In zukünftigen Förderprojekten des Luftfahrtforschungsprogramms des Bundes kann UpLift von Forschungseinrichtungen, Industrieunternehmen sowie von KMU als unabhängige, diskriminierungsfreie und offene Forschungsplattform genutzt werden. Das *Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt* (DLR) fungiert in UpLift sowohl als neutraler Betreiber des Flugzeugdemonstrators als auch der Bodentestumgebung mit drei Technologie-schwerpunkten: elektrisches Fliegen, emissionsarme Antriebe und kryogene Techniken.

„Um das nationale Ziel der Klimaneutralität bis 2045 auch in der Luftfahrt zu erreichen, muss die Technologieentwicklung jetzt

auf breiter Front Fahrt aufnehmen. Mit dem neuen fliegenden Wasserstofftestlabor und seinem Open-Source-Ansatz gehen wir gemeinsam mit DLR und Industrie einen neuen Weg“, so die Koordinatorin der Bundesregierung für die Deutsche Luft- und Raumfahrt, Dr. Anna Christmann, im Rahmen der Übergabe des Zuwendungsbescheids für UpLift auf der Paris Air Show 2023. „Wir wollen mit möglichst vielen Partnern gemeinsam Technologien zu einem frühen Entwicklungszeitpunkt im Flug erproben. Dies ist zugleich eine Einladung an weitere europäische Partner, sich frühzeitig für den nächsten Schritt – die Entwicklung eines Demonstrators für einen Mittelstreckenjet – in ähnlicher Art und Weise zu vernetzen und Kollaborationen aufzubauen.“

Lösungen für den Klimaschutz in der Luftfahrt

Die bereits bewilligten Forschungsprojekte aus dem Aufruf LuFo VI-3 Klima laufen derzeit auf Hochtouren und entwickeln Lösungen für die klimaneutrale Luftfahrt. Um den Weg hin zum Klimaschutz zu ebnen, gilt es nun, in diesen Forschungstätigkeiten durch intelligente Lösungen und Forschergeist die angestrebten Technologieentwicklungen voranzutreiben. Alle Forschungsprojekte im aktuellen Aufruf werden im Projektträger Luftfahrtforschung von den wissenschaftlichen Referentinnen und Referenten inhaltlich begleitet und von den administrativen Mitarbeitenden in der Durchführung unterstützt. Das zentrale Ziel, die signifikante Reduzierung von Klimawirkungen der Luftfahrt durch luftfahrtinduzierte Treibhausgase und Nicht-CO₂-Effekte, wird sich in allen Phasen der Projektförderung wiederfinden.

Die Forschung im derzeitigen Aufruf setzt stark auf die Entwicklung **alternativer, klimaneutraler Antriebstechnologien**. Die Erprobung einiger Technologieansätze ist auch bereits in der Nutzung des UpLift Flying Testbed eingeplant. Hierbei werden innovative Antriebskomponenten und Systeme entwickelt und validiert, um eine klimafreundliche Luftfahrt schneller zu ermög-

lichen. Neben der Erforschung neuer, alternativer Antriebsstränge selbst, wird in LuFo VI-3 Klima an der **Reduzierung** des primären und sekundären **Energiebedarfs** des Fluggeräts geforscht. Hierbei werden beispielsweise kleinere Batterie- oder Wasserdankvolumen angestrebt oder es werden Maßnahmen entwickelt, mit denen das Gesamtgewicht und der aerodynamische Widerstand signifikant reduziert werden können.

Weiterhin gibt es in LuFo VI-3 Klima Forschungsprojekte zur Steigerung der **Wettbewerbsfähigkeit** und **Ressourceneffizienz**. Da Flugzeuge voraussichtlich durch neue klimaneutrale Antriebe in den Kraftstoff-, Material- und Systemkosten steigen werden, ist es notwendig, durch Digitalisierung und geschlossene Stoffkreislaufsysteme die Luftfahrzeuge kostengünstiger und nachhaltiger zu entwickeln, herzustellen und zu betreiben. In diesem Zusammenhang wird auch an Prozessen geforscht, um neue Flugzeuge mit den klimafreundlichen Technologien schneller am Markt einführen zu können und um eine deutlich beschleunigte Marktdurchdringung zu erreichen.

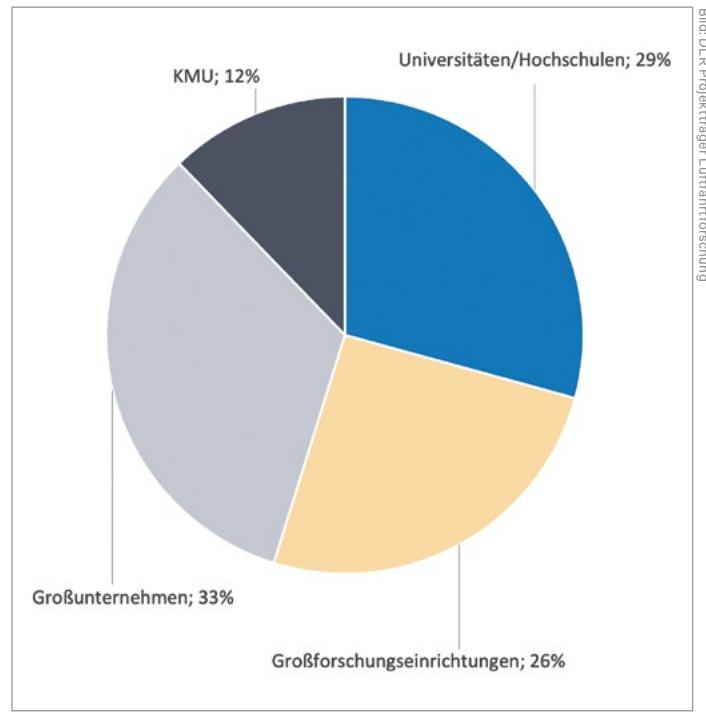
Ein weiteres Forschungsthema ist derzeit, die **Ressourceneffizienz** durch innovative Systemüberholungsprozesse und geschlossene Stoffkreislaufprozesse dahingehend zu optimieren, dass kritische, internationale Abhängigkeiten der Lieferketten reduziert werden. Zudem wird erforscht, wie der Einsatz von kritischen Hilfsstoffen und Chemikalien deutlich reduziert und die Materialrückführung aus Recyclingprozessen (insbesondere von Aluminium und Titan) erhöht werden kann.

Darüber hinaus werden in LuFo VI-3 Klima Methoden der **Lebenszyklusanalyse** zur Bewertung der Nachhaltigkeit über den gesamten Produktlebenszyklus entwickelt. Auch das Thema **Fluglärm** wird in aktuellen Projekten erforscht. Hierbei soll eine Verminderung des wahrgenommenen Lärms erreicht werden, sodass die Anzahl der lärmgefährdeten Menschen reduziert wird. Die Vielfalt an Forschungsthemen in LuFo VI-3 Klima zeigt, wie facettenreich der Weg zu einer klimaneutralen Luftfahrt ist. In dem aktuellen Aufruf wurden viele spannende und erfolgversprechende Projekte gestartet, die den Weg in die klimaneutrale Zukunft ebnen. Es werden jedoch noch weitere Forschungstätigkeiten im Anschluss notwendig werden, um diesen Weg zu festigen und zum Ziel zu bringen.

Gemeinsam forschen für eine klimaneutrale Luftfahrt

Ein wichtiger Aspekt in LuFo VI-3 Klima war es auch, **europäische** und **internationale Synergien** zu schaffen und die **Zusammenarbeit** von **Förderprogrammen** unterschiedlicher Länder für die Luftfahrtforschung zu nutzen. Nur durch eine gemeinsame und zugleich komplementäre Vorgehensweise innerhalb Europas und darüber hinaus kann die gewaltige Herausforderung, den Luftverkehr klimaneutral zu gestalten, bewältigt werden. Hierzu wurden in LuFo VI-3 Klima erfolgsversprechende **Forschungsprojekte** in Kooperation mit europäischen und internationalen Förderprogrammen bewilligt.

Weiterhin fokussierte sich der Aufruf auf die Förderung von innovativen KMU und Start-ups. Mit einem Anteil von nur zwölf Prozent am gesamten Fördervolumen ist erkennbar, dass KMU noch nicht wieder das Niveau vor der Coronazeit erreicht haben.



Empfängergruppen nach Anzahl der Vorhaben

Durch die Einrichtung eines KMU-Beratungsteams im Projektträger Luftfahrtforschung wurde eine zentrale Ansprechstelle in der Luftfahrt geschaffen. Zusätzlich zu dem bestehenden Basisberatungsangebot und der Nationalen Kontaktstelle für Unternehmen, Wissenschaft und Universitäten schafft diese Beratungsstelle ein detailliertes, **kostenloses Beratungsangebot**, das speziell auf die Bedürfnisse von KMU in der Luftfahrt ausgerichtet ist. So sollen KMU als Gesamtsystem- oder Komponentenhersteller unterstützt und fest in der gemeinsamen Forschung und den Zulieferketten der globalen Luftfahrtindustrie etabliert werden.

Gemeinsam für das Klima forschen ist auch weiterhin die Botschaft des Luftfahrtforschungsprogramms des Bundes. Es bleibt spannend, welche neuen Erkenntnisse aus den aktuellen Forschungsprojekten hervorkommen und wie der gemeinsame Weg hin zur klimaneutralen Luftfahrt aussehen wird. Das LuFo bleibt der zentrale Baustein in Deutschland für die Klimawende in der Luftfahrt und der Ausblick auf die zukünftigen Projekte mit vielen innovativen Forschungsideen bleibt spannend. ●

DER AUTOR

Dipl.-Ing. Jan E. Bode studierte Maschinenwesen mit Fachrichtung Luft- und Raumfahrt an der *Technischen Universität München*. Bis 2019 war er als Referent im *Bundesministerium für Wirtschaft und Energie* im Referat IVD2 *Luftfahrt* tätig und übernahm anschließend die Leitung des Projektträgers Luftfahrtforschung. In dieser Position ist er für die Betreuung des Luftfahrtforschungsprogramms des Bundes, unterschiedlicher Förderprogramme der Länder und des Luftfahrtbereichs in *Horizont Europa* zuständig. Weiterhin ist er Head of Delegation im europäischen Forschungsnetzwerk **GARTEUR** (*Group for Aeronautical Research and Technology in Europe*).



Der Clean-Sky-2-Demonstrator XDC

Numerische Methoden und experimentelle Verfahren für die nächste Generation von Luftfahrtantrieben

Alle Bereiche des Verkehrs arbeiten seit vielen Jahren daran, die Umwelt- und Lärmbelastung zu senken. Um die europäische Expertise in Forschung und Entwicklung in der Luftfahrt gebündelt auf dieses Ziel auszurichten, wurde 2014 das Forschungsprogramm *Clean Sky 2* ins Leben gerufen. Es ist eine Public-private-Partnership zwischen der Europäischen Kommission und der europäischen Luftfahrtindustrie, die von beiden Partnern je zur Hälfte finanziert wird. Clean Sky 2 soll mit innovativen Spitzentechnologien den CO₂-Ausstoß und den Lärmpegel von Flugzeugen in der nahen Zukunft verringern.

Für Verkehrsflugzeuge setzt die europäische Luftfahrtindustrie große Hoffnungen in die Entwicklung effizienterer, fortschrittlicher **Luftfahrtantriebe**. Dies können Triebwerke mit ultrahohem Nebenstromverhältnis (*Ultra-High Bypass Ratio, UHBR*), einer Kreuzung zwischen Turbofan und Turboprop (Open Rotor) oder mit Grenzschichteinsaugung (*Boundary Layer Ingestion, BLI*) sein. Im Clean-Sky-2-Projekt *Large Passenger Aircraft (LPA)* werden all diese Antriebskonzepte auf ihre Integrierbarkeit in vorhandene Flugzeugkonfigurationen und die nach der Integration verbleibenden Vorteile im Hinblick auf reduzierten Treibstoffverbrauch und geringere Lärmemissionen bewertet. Dafür sind genaue Werkzeuge zur Designoptimierung und zur Vorhersage und Bewertung dieser Neuerungen essenziell. Aus diesem Grund wurde innerhalb des Projekts der **Cross-Capability-Demonstrator (XDC)** für die Weiterentwicklung und Demonstration fortschrittlicher numerischer Methoden und experimenteller Verfahren eingerichtet.

Berechnungen der Lärmentwicklungen im Triebwerk

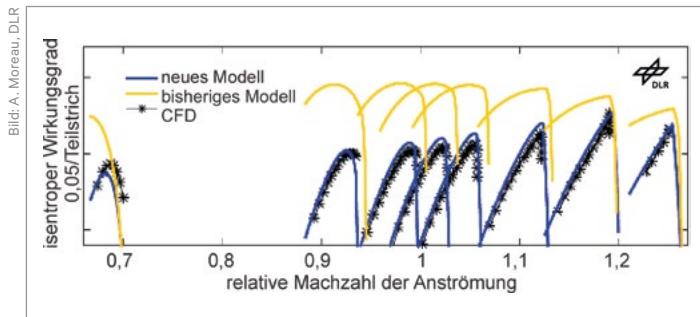
Der Bereich numerische Verfahren deckt Simulationen zur Aerodynamik, der Aeroelastik und der Aeroakustik sowie zum multi-disziplinären Entwurf und zur Materialwissenschaft ab. Im Rahmen der Entwicklung aeroakustischer Vorhersagemethoden (**CAA, Computational Aero Acoustics**) wurde ein neues Modell für die Berechnung von Triebwerkslärm aufgestellt. Dazu wurde die Erweiterung der Akustik ins Fernfeld (dem weit von der Schallquelle entfernten Bereich) nach *Ffowcs Williams und Hawkings (FW-H)* auf die *Fast Multipole Boundary Element Method (FM-BEM)* umgestellt, um reale Konfigurationen effizient zu berechnen. Innerhalb des XDC-Demonstrators wurde dieser Ansatz zur Vorhersage der Abschirmung der Flugzeugzelle untersucht und ein akustisches Modell daraus abgeleitet. Das wiederum floss in den CAA-Code **PIANO** des Deutschen Zentrums für Luft- und



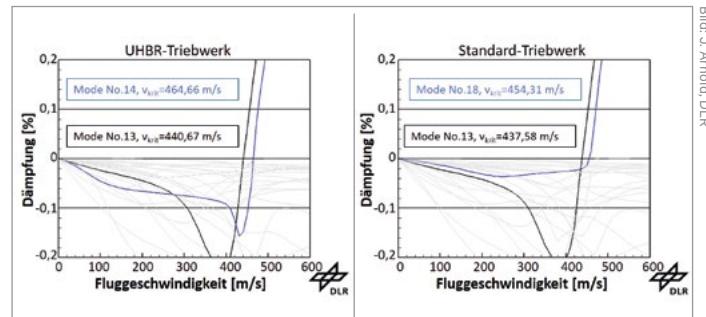
Übersicht über die einzelnen Disziplinen und die Antriebskonzepte

Raumfahrt (DLR) ein, um ungleichmäßige Strömungseffekte auf die Lärmentstehung und die Schallausbreitung zu berücksichtigen. Das Modell ist eine Erweiterung eines PropellermodeLLs und basiert auf rotierenden Punkt- oder Linienquellen. Das neu entwickelte numerische Modell wurde mit den *UHBR-Triebwerken* der Flugzeugkonfiguration des Sonderforschungsbereichs 880 erfolgreich getestet. Der PIANO-Code ist in der Lage, die Schall-emissionen des UHBR und die Installationseffekte bei ungleichmäßiger Zuströmung auch für komplexere Geometrien sehr ef-fizient zu berechnen.

Ist die Triebwerksgeometrie (zum Beispiel im Vorentwurf) noch unbekannt, werden für eine erste Abschätzung des zu erwartenden Triebwerkslärms **Vorhersagemethoden** verwendet, die auf empirischen Modellen der amerikanischen Luft- und Raumfahrtbehörde NASA aus den 1970er-Jahren basieren. Um die Lärm-entwicklung von UHBR-Triebwerken charakterisieren zu können, werden Vorhersagemethoden für den Breitbandlärm des Ge-triebefans benötigt, die die Auswirkungen der aerodynamischen Blattlasten und des Blattanstellwinkels auf die Lärmerzeugung korrekt erfassen. Das DLR hat einen alternativen Ansatz ent-wickelt, der auf analytischen Modellen für die Lärmquellen und ihren aerodynamischen Schlüsselparametern beruht. Basis ist ein physikalisches Verlustmodell für schlanke Triebwerksschaufeln. Mit diesem analytischen Modell wird die Vorhersage der mittleren aerodynamischen Leistung eines Fans im Vergleich zum ursprünglichen halbempirischen Ansatz erheblich verbessert. Die absoluten Werte des Fan-Druckverhältnisses und des Wirkungsgrads stimmen über einen weiten Bereich von Betriebsbedingungen gut mit den numerischen Ergebnissen (*Computational Fluid Dynamics, CFD*) überein. Der Abfall des Wirkungsgrads und der Anstieg der Verluste jenseits des Auslegungspunkts werden mit sehr guter Genauigkeit vorhergesagt.



Isentroper Fan-Wirkungsgrad im Vergleich ermittelt mit CFD, bisheriges und neues Modell



D150-Flatterdämpfung mit UHBR- (l.) und Standardtriebwerk (r.)

Aerodynamik und Integration des Antriebssystems

Neben der Vorhersage der physikalischen Lärmentstehung eines Triebwerks ist das Verständnis der auftretenden aerodynamischen Effekte von Interesse. So wurde die Umströmung von rotierenden Schaufeln untersucht und ob die Rotation den Umschlagsbereich von laminarer zu turbulenter Strömung am Propellerblatt von Open-Rotor-Triebwerken verändert. Untersucht wurden die Ergebnisse unter Einbeziehung oder Vernachlässigung der Rotation in linearen Stabilitätsgleichungen.

Ein weiterer Baustein des XDC-Demonstrators war der Entwurf und die Integration eines **UHBR-Antriebssystems**. Ein Triebwerksentwurf für dieses Antriebskonzept ist eine hochgradig multidisziplinäre Aufgabe und muss aerodynamische Ziele mit strukturellen Anforderungen vereinen. Die betrachtete Antriebsseinheit stammte aus dem DLR-Projekt **ASPIRE** (*Aerodynamic and acoustic for high-by-Pass ratio turbofan integration*). Hierbei wurde eine hocheffiziente Fan-Stufe entworfen und mit einer Gondel und einem Einlass komplettiert. Die Studie umfasste den Entwurfsprozess und die anschließende Analyse der Fan-Stufe im Originalmaßstab. Ziel war es, alle Arten von leistungsbezogenen sowie strukturellen und betrieblichen Anforderungen in verschiedenen Betriebsszenarien zu berücksichtigen. Dies geschah durch die Anwendung multidisziplinärer Optimierungs- und Simulationstechniken. Es galt, den Betrieb des Fans unter schräger Anströmung oder die Empfindlichkeit des Rotors gegenüber Flattern aufgrund akustischer Rückkopplung mit dem Einlass zu bestimmen beziehungsweise auszuschließen.

Aeroelastik und Schutz vor Unfällen

Bei jedem Flugzeugentwurf ist auch das aeroelastische Verhalten des Gesamtsystems zu betrachten, denn dieses kann sich durch Verändern der Triebwerksposition oder der Bauweise signifikant ändern. Das DLR demonstrierte im Rahmen des XDC-Demonstrators die Stabilitätsbewertung eines mit UHBR-Triebwerken ausgestatteten Flugzeugs. Dazu wurde die kritische Flattergeschwindigkeit mit der des gleichen Flugzeugs mit Standard-

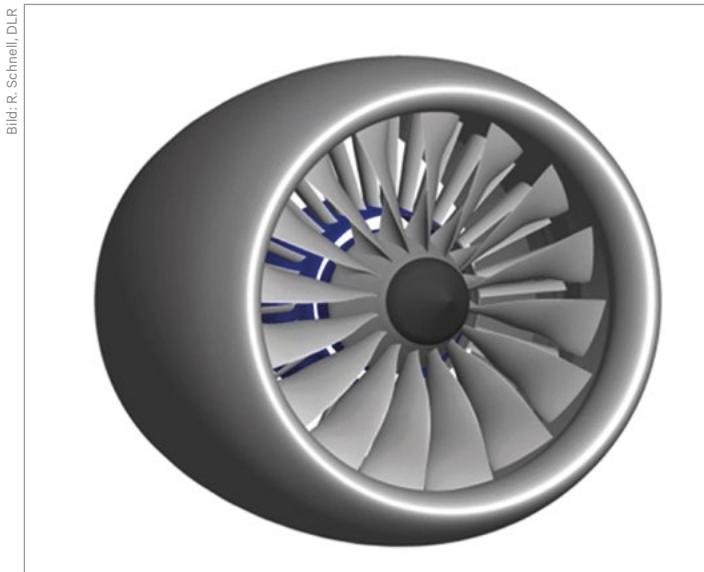
triebwerken und kleinerem Fan-Durchmesser verglichen. Basis war eine vom DLR modellierte **D150-Konfiguration**, die in Bezug auf Größe und dynamisches Verhalten dem *Airbus A320* ähnlich ist. Eine Sensitivitätsstudie variierte die Position des Standardtriebwerks und dessen strukturelle Anbindung an den D150-Flügel. Hierbei zeigte sich, dass insbesondere eine Verschiebung in vertikaler Richtung nach oben und eine Aussteifung der Aufhängung (Pylon) die kritische Flattergeschwindigkeit erhöhen. Die aeroelastischen Modelle wurden mit dem Softwarepaket **ZAERO** anhand instationärer Luftkräfte auf Basis der *Doublet Lattice Method (DLM)* analysiert. Die Ergebnisse zeigen in Bezug auf deren Flattergeschwindigkeit keine wesentlichen Unterschiede zwischen den untersuchten Standard- und UHBR-Triebwerkstypen. Aufgrund des höheren Durchmessers und der damit einhergehenden höheren Einbauposition verbesserte sich das Flatterverhalten für das UHBR-Triebwerk im untersuchten Fall sogar.

Für aeroelastische Analysen und Schwingungsanalysen an zukünftigen Flugzeugkonfigurationen werden repräsentative **Referenzmodelle** für die Aerodynamik und die Flugzeugstruktur benötigt. Nur wenige Modelle mit einem ausreichenden Detailierungsgrad sind öffentlich verfügbar. Das DLR-Tool **MONA** erstellt parametrische Flugzeugmodelle, also Finite-Elemente-Modelle und lineare aerodynamische Modelle, um die globale strukturelle und aeroelastische Dynamik eines Flugzeugs realistisch darzustellen. Im XDC-Demonstrator wurden die Modellierungsfähigkeiten von MONA erweitert: So ist jetzt auch die Generierung von Rumpfmodellen mit ausreichendem Detailgrad für aeroelastische und vibroakustische Analysen möglich. Diese Modelle können für weitere Analysen und die Entwicklung zukünftiger Konfigurationen genutzt werden.

Bei der Integration neuer Triebwerkskonzepte mit größer werdenden Rotoren, wie beim Open Rotor oder dem UHBR, können sich im Extremfall Rotorblätter lösen. Der **Schutz** der **Rumpfstruktur** vor dem Einschlag dieser Blätter oder deren Fragmenten war ebenfalls Ziel des XDC-Demonstrators. Es galt, Materialien zu finden, die hohen Schutz bieten, aber leicht sind. Im Programm wurden Simulationsmethoden zur Bewertung des Aufprallverhaltens von vier verschiedenen Materialien entwickelt und erprobt. Die fehlenden Basisparameter für numerische Untersuchungen wurden aus Materialcharakterisierungstests ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, dass bei Hochgeschwindigkeitsaufprallereignissen unter Berücksichtigung verschiedener Einschlags-szenarien eine Vielzahl von Effekten und Mechanismen erfasst werden müssen und Simulationen bei der Auswahl geeigneter Abschirmungslösungen unvermeidlich sind.

Weiterentwicklung optischer Messmethoden mit dem XDC-Demonstrator

Zudem wurden im Projekt experimentelle Verfahren wie optische Messmethoden für Strömungsfeld, Oberflächendruck, Transition und Deformation weiterentwickelt. Für einen Triebwerksboden-test mit dem DLR-Forschungsflugzeug **ISTAR**, einer *Dassault Falcon 2000LX*, in einer Lärmschutzhalle kam das Strömungsfeldmessverfahren **PIV (Particle Image Velocimetry)** zum Einsatz. Zweck dieses Tests war die Messung des Strömungsfelds in ausgewählten Ebenen am Triebwerkseinlass, um hochgenaue quan-



ASPIRE UHBR-Fan

titative Daten für die Validierung numerischer Methoden zu erzeugen. Für den Messaufbau wurden zwei stereoskopische PIV-Systeme (vier Kameras) zusammen mit der Laseroptik auf einem starren Rahmen in der Nähe des Flugzeugs montiert. Um in mehreren Messebenen zu arbeiten, war dieser Rahmen beweglich. Die für die Messtechnik benötigten Streupartikel wurden mehrere Meter vor dem Flugzeug erzeugt und vom Triebwerk eingesogen. Mit dem Aufbau war es möglich, den Einlasswirbel vor dem Triebwerk zu visualisieren und zu vermessen. Parallel dazu wurde die Bewegung des Triebwerks, die sich aus der Auslenkung des Fahrwerks durch den Triebwerksschub ergibt, mit einem zusätzlichen stereoskopischen Kamerasytem und Markern an der Gondel erfasst.

Ein ähnliches Verfahren der digitalen Bildkorrelation, die *Image Pattern Correlation Technique (IPCT)*, kam für Propellerdeformationsmessungen und den Flugversuch zum Einsatz. Hierzu optimierte ein Team die Messprozedur inklusive Mustererzeugung und die Auswertungssoftware. Die optischen Verformungsmessungen an den Propellerblättern erfolgten zusammen mit berührungslosen Oberflächendruckmessungen mittels drucksensitiver Farbe (Pressure Sensitive Paint, PSP) im Windkanal. Dazu mussten die Rotorblätter mit der Farbe und dem IPCT-Muster versehen werden, ohne dass eine zeitaufwändige Sensorinstallation, die die Strömung beeinflussen kann, erforderlich war. Mit der Messung wurde demonstriert, dass Druck- und Deformationsmessungen an Propellern mit beiden Verfahren parallel durchgeführt werden können und der Installationsaufwand im Vergleich zur Sensorinstallation minimal ist.

Die weitere Anwendung der IPCT-Messtechnik im XDC-Demonstrator erfolgte im Rahmen einer Flugmesskampagne des DLR-Projekts *HighFly* auf dem *ISTAR*. Hierbei wurde die Flügeldeformation optisch ermittelt. Die Anwendung von *MEMS*-Mikrofonen (*Micro Electro Mechanical System*) im Bereich der Aeroakustik hat in den letzten Jahren erheblich an Aufmerksamkeit gewonnen, da sie Größen-, Gewichts- und Kostenvorteile bietet. Im HighFly-Flugversuch wurden insgesamt drei Folien mit integrierten MEMS-Mikrofonen im Cockpitbereich auf der Rumpfaußenseite aufgeklebt, um hydrodynamische und aeroakustische Druckschwankungen zu messen und zu separieren.

Im Hinblick auf den Bereich der **experimentellen Vibroakustik** erfolgte im XDC-Demonstrator die Entwicklung eines aktiven Anregungssystems, das das Schwingungsverhalten von Triebwerken nachbildet. Dieses System soll dazu beizutragen, die Anzahl der Flugtests zu reduzieren und die Forschung im Bereich der vibroakustischen Kabinengeräusche zu beschleunigen – ein wichtiges Werkzeug, um fortschrittliche Antriebskonzepte und deren Interaktion mit der Flugzeugzelle besser zu verstehen.

Ein Demonstrator für alle Bereiche

Im Gegensatz zu anderen Clean-Sky-2-Demonstratoren vertritt der XDC-Demonstrator kein spezielles Produkt oder eine Methode. Vielmehr wurden hier verschiedene, essenzielle numerische und experimentelle Verfahren für aerodynamische, aeroakustische und strukturelle Untersuchungen zukünftiger Antriebskonzepte entwickelt und deren Fähigkeiten in der Anwendung demonstriert. Mit ihrer Hilfe sollen Vorhersage, Optimierung und



Bild: J. Agoes, DLR

Triebwerksbodenlauf mit Einlaufwirbelvermessung mittels PIV
(kleines Bild: Detail des Wirbels)

Validierung der Integration der Antriebssysteme leichter und anwendbarer werden. Ein Teil der im XDC-Demonstrator etablierten Methoden wird in den laufenden Clean-Aviation-Projekten *OFELIA* (*Open Fan for Environmental Low Impact of Aviation*) und *COMPANION* (*Common Platform and Advanced Instrumentation Readiness for Ultra Efficient Propulsion*) bereits umgesetzt, um spezielle Aspekte eines Open-Rotor-Triebwerks im Flugversuch zu vermessen.

Einen detaillierteren Einblick in die XDC-Methoden wird das dieses Jahr erscheinende **Buch** mit dem Titel „*Numerical Methods and Experimental Means for the Integration of Future Propulsion Systems – A Resumé of the Achievements made within the CleanSky 2 XDC Demonstrator*“ geben. •

DIE AUTORINNEN UND AUTOREN

Antje Stamm hat Wirtschaftswissenschaften studiert. Seit 2013 arbeitet sie beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), zunächst im Förderungsmanagement, und wechselte 2019 in den DLR-Projektmanagementsupport. Seitdem ist sie als koordinierende Projektmanagerin für die administrative Abwicklung der DLR Clean-Sky-2- und Clean-Aviation-Projekte verantwortlich.

Fritz Boden studierte Maschinenbau mit Vertiefung Luft- und Raumfahrttechnik und ist seit 2005 beim DLR. Er arbeitete zunächst im Bereich technische Akustik und wechselte dann Ende 2006 in den Bereich Experimentelle Verfahren und Flugmesstechnik. Boden entwickelt optische Messtechniken für den Flugversuch, koordinierte mehrere EU-Projekte zu diesem Thema und leitet den XDC-Demonstrator im Rahmen von Clean Sky 2.

Ulrich Herrmann studierte Luft- und Raumfahrttechnik und ist bereits seit 1988 beim DLR. Er arbeitete bis 2007 als Aerodynamiker und wechselte dann in die DLR-Programmatik. Aktuell koordiniert er die DLR-Beteiligungen in Clean Sky 2 und Clean Aviation und agiert als Steering-Committee-Mitglied bei Clean Aviation.

ESA-EU Space Summit 2023

Wegbereiter für mehr Nachhaltigkeit
und mehr Wettbewerb



SPACE SUMMIT 2023



SEVILLE



Ministerinnen und Minister der 22 ESA-Mitgliedstaaten sowie Vertretende der Europäischen Kommission trafen sich am 6. und 7. November 2023 im spanischen Sevilla zum zweiten europäischen Raumfahrtgipfel

Im November 2023 hat in Sevilla der *Space Summit* stattgefunden, bei dem die für Raumfahrt verantwortlichen Ministerinnen und Minister der Mitgliedstaaten der *Europäischen Weltraumorganisation ESA* und der *Europäischen Union (EU)* den weiteren Weg für die europäische Raumfahrt ebneten. Im Fokus standen die Verabschiedung einer Entschließung mit den Schwerpunkten einer grünen und nachhaltigen Raumfahrt, eines unabhängigen, kosteneffizienten und wettbewerbsfähig organisierten Zugangs zum All sowie neue Beschaffungsansätze der ESA, um die Zusammenarbeit mit der Industrie kommerzieller und dienstleistungsbasierter zu gestalten.

Raumfahrttechnologien und -anwendungen sind längst fester Bestandteil der Gesellschaft sowie vieler Industriezweige und können auch zur Lösung globaler Herausforderungen beitragen. Anders als in den vergangenen Jahrzehnten, wo vor allem der Forschungsaspekt im Vordergrund stand, verändern sich die Rahmenbedingungen für Raumfahrtaktivitäten und der Raumfahrtsektor selbst zurzeit mit hohem Tempo. Die Rede ist vom Aufstreben des *New Space* – der **kommerziellen Raumfahrt**. Auch aktuelle irdische Herausforderungen wie **Nachhaltigkeit** und **Klimaschutz** halten Einzug in die Branche. Die europäische Raumfahrt ist von diesem Umbruch erfasst, was beim ESA-EU Space Summit am 6. und 7. November 2023 unter den Spitzen der europäischen Raumfahrt für viel Diskussionsstoff sorgte. Ziel des gemeinsamen Treffens in Sevilla war es, die europäischen Raumfahrtaktivitäten besser zu koordinieren und die Möglichkeiten der Raumfahrt für Wirtschaft und Gesellschaft besser zu nutzen.

Seit der *ESA-Ministerratskonferenz* im November 2022 hat Deutschland den Ratsvorsitz inne. So leitete die deutsche Luft- und Raumfahrtkoordinatorin **Dr. Anna Christmann** den *ESA-Rat* am 6. November. „Von Sevilla geht ein starkes Zeichen für die Zukunft der europäischen Raumfahrt aus. Mit der *European Launcher Challenge* setzen wir auf Wettbewerb und Innovation bei Trägerraketen. Das wird ein Meilenstein für den europäischen Zugang zum All. Es freut mich, dass wir während des deutschen

Vorsitzes des *ESA-Ministerrats* so gemeinschaftlich neue Wege für einen starken europäischen Raumfahrtstandort gehen“, erklärte die Abgeordnete der Grünen im Bundestag im Rahmen des *Space Summits*. Der *ESA-Ministerrat* war jedoch nur ein Teil des *Weltraumgipfels*. Als gemeinsame Veranstaltung von *ESA* und *EU* umfasste er zugleich eine informelle Sitzung des *EU*-seitig für Raumfahrt verantwortlich zeichnenden *EU-Wettbewerbsfähigkeitsrats*.

Kommerzialisierung und Wettbewerb

Am ersten Tag stand vor allem das Thema „Europas Zugang zum All“ auf der Agenda. Dies ist nicht verwunderlich, denn die Sorgenkinder der *ESA*, *Ariane 6* und *Vega-C*, haben frühestens Mitte beziehungsweise Ende 2024 wieder ab. Die europäischen Trägerraketen erhielten in Sevilla nun einiges an Unterstützung.



Deutschland hat aktuell den Vorsitz im *ESA-Rat*. Dr. Anna Christmann, die Luft- und Raumfahrtkoordinatorin der Bundesregierung, hat die Sitzung des *ESA-Rats* auf Ministerebene am 6. November 2023 im *FIBES-Konferenz-Center* in Sevilla geleitet

Bild:ESA/D. Ducros



Künstlerische Darstellungen der Raketen Ariane 6 und Vega-C

Bild:DLR



An der Spitze der deutschen Delegation beim Space Summit standen Dr. Anna Christmann (m.) und Dr. Walther Pelzer (l.). Mit dabei war auch der deutsche ESA-Astronaut Dr. Alexander Gerst (r.)

Nicht nur sicherten die ESA-Mitgliedstaaten die notwendigen Mittel für den Betrieb nach baldigem Erststart der Ariane 6 sowie die weitere Nutzung der Vega-C als feste Bestandteile der europäischen Launcher-Familie für institutionelle und kommerzielle Starts zu, sie ebneten auch den Weg für die von Deutschland initiierte, sogenannte **European Launcher Challenge** für einen effizienteren, zukunftssicheren Trägersektor.

„Damit haben wir einen Paradigmenwechsel erreicht: Wir wollen den Markt für den Wettbewerb kommerzieller Trägerraketen öffnen und damit mehr Kosteneffizienz und Resilienz schaffen. Denn in Europa können wir nur dann unabhängig und wettbewerbsfähig werden, wenn wir den Ansätzen aus der Vergangenheit eine neue Vision gegenüberstellen“, erläuterte Dr. Walther Pelzer, Generaldirektor der Deutschen Raumfahrtagentur im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), der mit seinem Team in Bonn die deutschen Positionen der Konferenz vorbereitet und mit der Bundesregierung abgestimmt hatte. Die gemeinsame Umsetzung der European Launcher Challenge sei der entscheidende Schritt in diese Richtung und solle nun bis zur nächsten Ministerratskonferenz 2025 in Deutschland vorbereitet werden, so Dr. Pelzer weiter.

Dies ist eine Abkehr vom bisherigen Kurs der ESA. Anstatt die Entwicklung von Raketen und Raumfahrzeugen selbst zu verantworten und mit Steuergeldern zu subventionieren, möchte die Weltraumorganisation in Zukunft als **Kunde** auftreten, der für **Frachtdienste** in den Weltraum bezahlt. Bei der Öffnung hin zu einer kommerziellen Raumfahrt stehen vor allem die Kosteneffizienz und der beständige Zugang zum Weltraum im Fokus. Ein Modell, das in den USA bereits gut funktioniert: Die amerikanische Luft- und Raumfahrtbehörde NASA hat diesen Paradigmenwechsel schon vor Jahren vollzogen und zahlt heute für einen Flug in den Weltraum mit SpaceX deutlich weniger.

Zukünftige Weltraumerkundungen

Der Space Summit zeigt, dass die ESA weiterhin als Motor für Europas Zukunft in der Raumfahrt fungieren möchte und dafür die notwendige Modernisierung der Durchführung ihrer Program-

me in die Hand nimmt. Dieses zweite Schwerpunktthema umfasst neben der Frage des sicheren und eigenständigen Zugangs zum All auch die nächsten Schritte in der **Weltraumexploration**. Dazu gehören die Aspekte Kommerzialisierung, dienstleistungsbasierte Ansätze und konkurrenzfähige Beschaffungsmodelle. Damit Europa hier seinen Platz einnimmt, insbesondere im Hinblick auf die Außerbetriebnahme der *Internationalen Raumstation ISS*, geplant für 2030, gaben die Ministerinnen und Minister auf dem Raumfahrtgipfel grünes Licht für einen **Wettbewerb**, bei dem in Europa ansässige, innovative Unternehmen einen Frachtrückführungsdiens entwickeln sollen. Dieser europäische kommerzielle Anbieter soll bis 2028 Nachschub zur ISS beziehungsweise Fracht wieder zurück zur Erde bringen.

Die erste Phase dieses Vorhabens soll unmittelbar begonnen werden, während die zweite Phase Bestandteil der Vorschläge für die kommende ESA-Ministerratsversammlung im Jahr 2025 sein wird. Der Wettbewerb soll mit Beiträgen aus der **Privatwirtschaft** durchgeführt werden. Mit den Beschlüssen des Raumfahrtgipfels kann die ESA unverzüglich mit den Vorbereitungen für den für 2028 geplanten Meilenstein beginnen.

Bild:ESA/IDS&Sehne/ONIRIXEL (CC BY-SA 3.0 IGO)



Beim Space Summit stellte die ESA die Zero Debris Charta vor, die dazu aufruft, bis 2030 keinen neuen Weltraummüll mehr zu produzieren

Grüne und nachhaltige Raumfahrt

Klimadaten, Weltraumschrott und Ressourcenknappheit: Die Themen Nachhaltigkeit und Klimawandel waren auch auf dem Space Summit 2023 präsent. Die Ministerinnen und Minister haben nach intensivem Austausch beschlossen, dass die ESA die Beiträge der Raumfahrt für eine nachhaltige Umwelt- und Klimapolitik intensivieren soll, um das Erreichen der Ziele des *Pariser Klimaabkommens* und des *Green Deals* der EU zu unterstützen. So sollen Daten aus dem All noch besser für die Bewältigung des Klimawandels genutzt werden, unter anderem mithilfe des Erdbeobachtungsprogramms *Copernicus*. Denn **Erdbeobachtungssatelliten** liefern wichtige Informationen zu Veränderungen in der Atmosphäre oder zu steigenden Temperaturen auf der Erdoberfläche und in den Ozeanen. Darüber hinaus sind die Weltraumdaten und -dienste wichtige Instrumente für europäische Entscheidungsträger, die Industrie, die Wissenschaft und die Gesellschaft, um Lösungen für intelligenten, umweltfreundlichen Verkehr, intelligente Landwirtschaft und intelligentes Energiemanagement zu finden. Die ESA hat sich ebenfalls zur Zusammenarbeit mit der *Generaldirektion Klimaschutz* der EU bereit erklärt, der die Federführung bei den Bemühungen der Europäischen Kommission zur Bekämpfung des Klimawandels auf EU- und internationaler Ebene obliegt.

Gleichzeitig möchte die ESA aktiv darauf hinarbeiten, den ökologischen Fußabdruck aller Raumfahrtprojekte über deren gesamten Lebenszyklus hinweg zu verringern und so eine saubere und nachhaltige Raumfahrtindustrie zu fördern. **Weltraummüll** stellt ein großes Problem dar, das sich in Zukunft mit immer mehr Satelliten in der Umlaufbahn noch verschärfen wird. Die ESA plant das Entstehen solcher Abfälle bei kommenden Missionen deutlich einzuschränken und ruft auch andere Raumfahrtagenturen und private Firmen dazu auf, einer beim Weltraumgipfel veröffentlichten Charta beizutreten. Diese internationale *Zero Debris Charta* hat das Ziel, durch Raumfahrt verursachte Emissionen und Weltraumrückstände im Weltall selbst zu minimieren und Nachhaltigkeit zu stärken. Die Mitgliedstaaten kündigten an, dies zu unterstützen.

„Für Deutschland hat die Förderung des Klimaschutzes und die Nutzung von sauberen Technologien, die nur geringe bis keine Treibhausgasemissionen verursachen, oberste Priorität. Weltraumgestützte Daten und Dienste stellen hier ein entscheidendes Puzzleteil dar. Ohne unsere Aktivitäten im Weltraum könnten wir den Klimawandel nicht systematisch verfolgen und effektiv auf die Klimakrise reagieren. Zur grünen Raumfahrt gehört auch das Thema Nachhaltigkeit im All. Wir sind uns innerhalb der ESA-Mitgliedstaaten einig, dass wir diese Schwerpunkte konkret ausbauen und vertiefen müssen, wenn wir unseren eigenen Zielen, dem Pariser Klimaabkommen und dem EU-Green-Deal, gerecht werden wollen“, betonte Pelzer.

Nächste Schritte

Zum Abschluss des Gipfels fand unter der Leitung Deutschlands als Vorsitz des ESA-Rats auf Ministerebene und Spaniens als EU-Ratspräsident noch der sogenannte informelle Austausch gemeinsam mit den Mitgliedstaaten von ESA und EU sowie der EU-Kommission und ESA-Führung statt. In einer Abschlusserklärung wurde hier die enorme Bedeutung der Raumfahrt für eine nachhaltige Umwelt- und Klimapolitik festgehalten. Im Zuge dessen soll zukünftig auch das europäische Erdbeobachtungsprogramm *Copernicus* weiter gestärkt werden. Ein weiterer Schwerpunkt des Abschlusspapiers ist, künftig dienstleistungsorientierte, kommerzielle Ansätze in der Raumfahrt stärker zu verfolgen, um die europäische Raumfahrt effizienter und wettbewerbsfähiger zu machen.

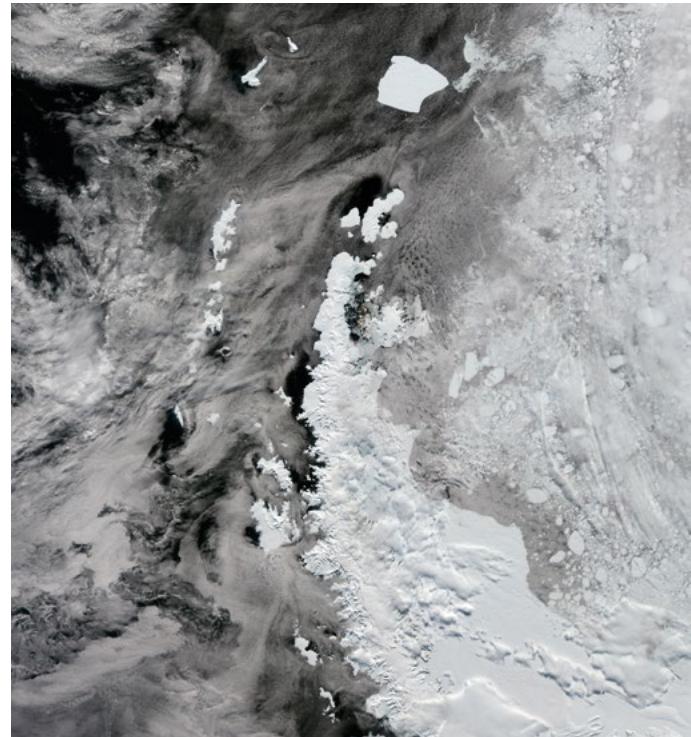


Bild: beinhaltet bearbeitete Copernicus-Sentinel-Daten (2023), ESA (CC BY-SA 3.0 IGO)

Sentinel 3 behält die Eisentwicklung auf der Erdoberfläche im Blick. Die Eisschichten geben Hinweise auf das Fortschreiten der globalen Erwärmung

rungrung wurde hier die enorme Bedeutung der Raumfahrt für eine nachhaltige Umwelt- und Klimapolitik festgehalten. Im Zuge dessen soll zukünftig auch das europäische Erdbeobachtungsprogramm *Copernicus* weiter gestärkt werden. Ein weiterer Schwerpunkt des Abschlusspapiers ist, künftig dienstleistungsorientierte, kommerzielle Ansätze in der Raumfahrt stärker zu verfolgen, um die europäische Raumfahrt effizienter und wettbewerbsfähiger zu machen.

Darüber hinaus wird die ESA bei der Koordinierung der europäischen Nachfrage nach **Weltraumdiensten** mit der EU zusammenarbeiten, was ihre Rolle im Zentrum der europäischen Raumfahrtambitionen auch in Zukunft unterstreichen soll. Die Ergebnisse des ESA-EU Space Summits 2023 stellen einen weiteren wichtigen Schritt auf dem Weg zur Ratstagung auf Ministerebene im Jahr 2025 dar. Der ESA-Generaldirektor wird gemeinsam mit den ESA-Mitgliedstaaten die Strategie *ESA 2040* ausarbeiten, die als Grundlage für die Tagung im Jahr 2025 dienen soll. ●

DIE AUTORINNEN

Nicole Kretschmer ist Redakteurin der *Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR)*. Nach ihrem journalistischen Volontariat war sie als Online-Redakteurin beim Wissenschaftsladen Bonn und als Mitarbeiterin in der Hochschulkommunikation an der *Alanus Hochschule für Kunst und Gesellschaft* tätig.

Alisa Griebler koordiniert die Kommunikationsaktivitäten der *Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR)*. Sie ist Pressesprecherin der DGLR und Chefredakteurin des Magazins „*Luft- und Raumfahrt*“.

Hochleistungsantriebe für Trägerraketen

Wiege moderner Flüssigkeitsantriebe
in Deutschland

Bild: ESA/CNES/ARIANESPACE/ArianeGroup

Bild: ESA





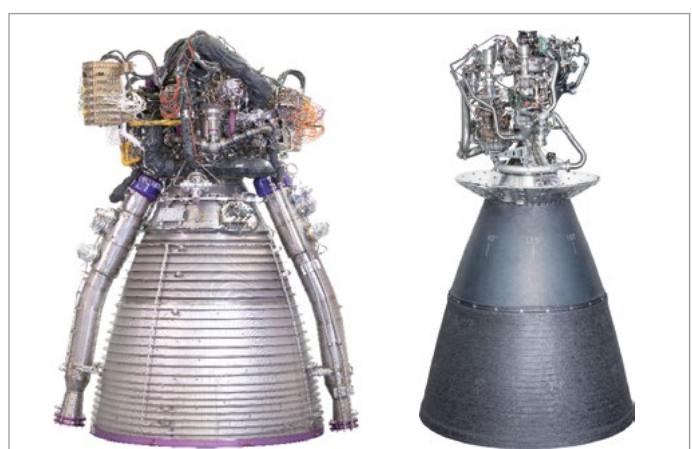
Triebwerk Aquila von Isar Aerospace im Test

Europas unabhängiger Zugang zum All ist eines der wichtigsten Standbeine der europäischen Raumfahrt. Die deutsche Raumfahrtindustrie arbeitet dafür derzeit auf Hochtouren an den Flüssigkeitstriebwerken *Vulcain 2.1* und *Vinci* für den europäischen Schwerlastträger *Ariane 6*. Diese Triebwerke werden in europäischer Zusammenarbeit entwickelt und hergestellt, mit signifikanter Beteiligung der deutschen Industrie- und Forschungslandschaft. Betrieben werden sie mit einer Kombination aus flüssigem Sauerstoff und flüssigem Wasserstoff (LOX/LH₂). Aktuell gibt es im dynamischen Umfeld der privat finanzierten deutschen Mikrolauncher neben Flüssigkeitstriebwerken mit LOX/Kerosin (*RFA, Rocket Factory Augsburg*) oder LOX/Propan (*Isar Aerospace*) auch ein hybrides Konzept (*HyImpulse Technologies*), basierend auf LOX/Paraffin. Über die Antriebsarten, Triebwerkstypen sowie ihre Vor- und Nachteile wurde im ersten Teil dieser zweiteiligen Reihe zu den Hochleistungsträgerraketenantrieben in der Ausgabe 4/2023 der „Luft- & Raumfahrt“ berichtet. Dieser Teil widmet sich der geschichtlichen Entwicklung in Deutschland und Europa.

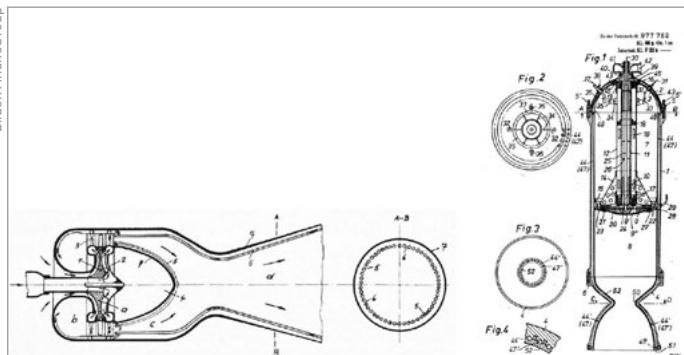
Das Portfolio der Triebwerke mit deutscher Beteiligung umfasst Nebenstromtriebwerke in unterschiedlichen Schubklassen wie das Vulcain 2.1 mit 1.300 Kilonewton Schub (*ArianeGroup*) und das Aquila-Triebwerk mit 90 Kilonewton Schub (*Isar Aerospace*). Hauptstromtriebwerke sind das Vinci mit 200 Kilonewton Schub (*ArianeGroup*) sowie das Helix-Triebwerk mit 90 Kilonewton Schub (*RFA*). Bei der ArianeGroup wird zudem aktuell mit dem *Prometheus-Programm* ein Flüssigkeitstriebwerk in der 1.000-Kilonewton-Schubklasse in zwei Varianten für LOX/Methan und LOX/LH₂ entwickelt. Hierbei soll großflächig additive Fertigung (3D-

Druck) eingesetzt werden, was einen substantiellen Kostenvorteil verspricht. Der modulare Aufbau des Gasgeneratortriebwerks erlaubt es, dass Komponenten zur Kostenreduktion auch in das Vulcain 2.1-Triebwerk überführt werden können.

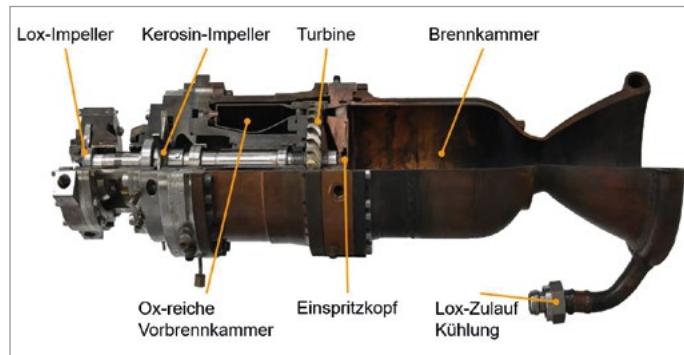
Im Rahmen von Programmen der *Europäischen Weltraumorganisation ESA* sind weitere Flüssigkeitstriebwerksentwicklungen vorgesehen. Beispielsweise arbeitet Avio in Italien im Zuge der Vega-E am *M10-Triebwerk*. Dieses circa 100-Kilonewton-LOX/Methan-Triebwerk sieht einen Expanderzyklus vor. Parallel arbeitet das Unternehmen noch an dem größeren *M60-Triebwerk* mit 600 Kilonewton Schub, das nach aktueller Information auf Staged-Combustion-Technologie für die LOX-Seite und Expander-technologie für die Methan-Seite basiert.



Hauptstufentriebwerk Vulcain 2.1 und Oberstufentriebwerk Vinci



Patente von Karl Stöckel, datiert auf 1942, links, und datiert auf 1955, rechts



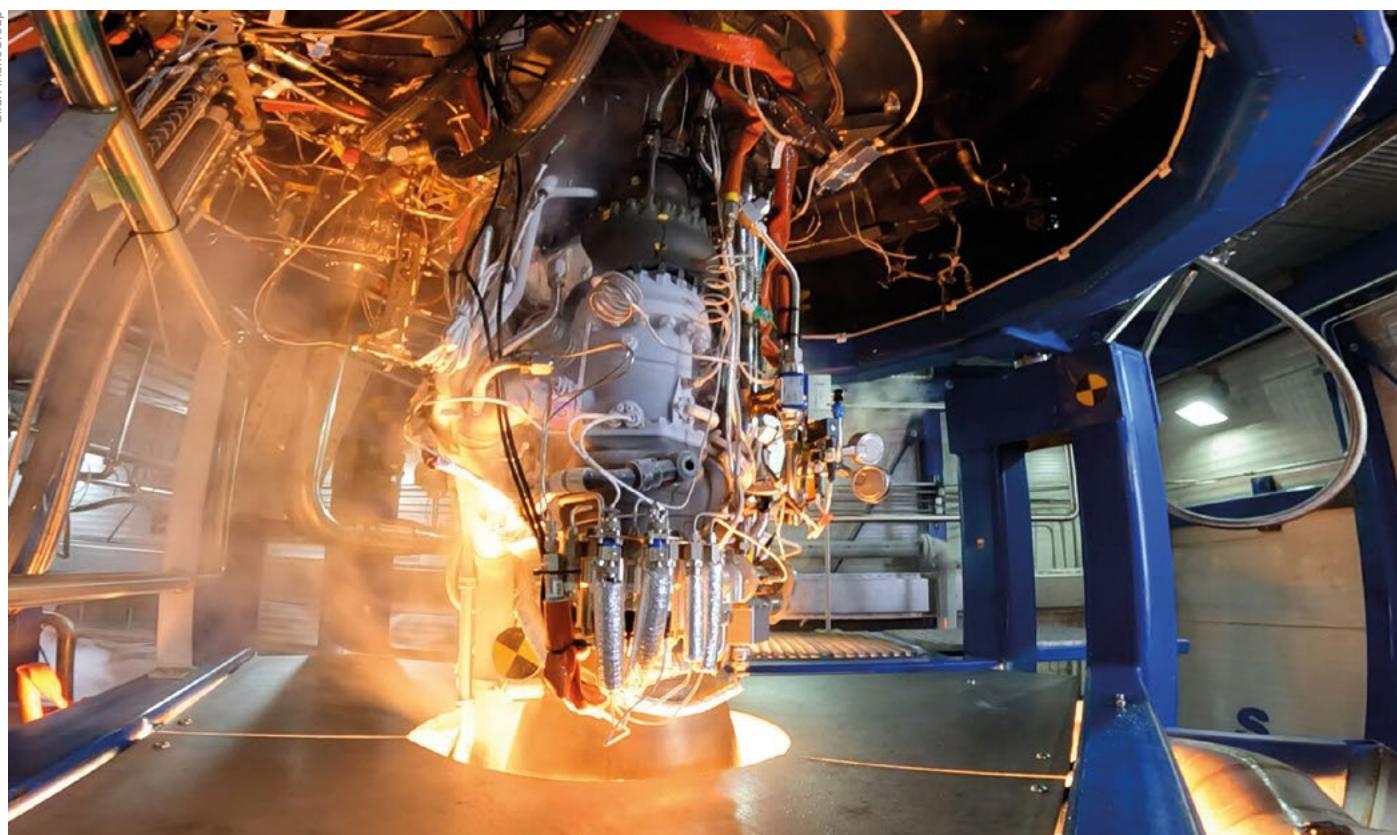
Das P111-Triebwerk

Hauptstromtriebwerke – Die Wiege in Deutschland

Erste Überlegungen zu Hauptstromtriebwerken gehen zurück auf **Karl Stöckel** von der *Technischen Universität Berlin* im Jahr 1942. Weitere Arbeiten führten zur Entwicklung des ersten Hauptstromtriebwerks *P111* mit gestufter Verbrennung (Staged-Combustion) in der „westlichen Welt“, das 1957 von der Firma *Bölkow* auf den Weg gebracht wurde. Nach knapp fünfjähriger Entwicklungszeit fand 1963 der erste Testlauf des LOX/Kerosin-Triebwerks statt, das wesentliche Merkmale späterer Triebwerke beinhaltete, wie die LOX-reiche Vorverbrennung. Die Technologie des Staged-Combustion-Triebwerks wurde von Bölkow und dem amerikanischen Unternehmen *Rocketdyne* 1967 in einem gemeinsamen Technologiedemonstrationsprogramm namens ***BORD 1*** (*Boelkow/Rocketdyne Division*) erfolgreich angewendet. Im Laufe des Testprogramms wurde ein Brennkammerdruck von 283 bar verwirklicht.

Im September 1970 gründeten das französische Unternehmen **SEP** (*Société Européenne de Propulsion*) und **MBB** (*Messerschmitt Bölkow Blohm*) die Firma *Cryorocket*, mit dem Ziel, das Hochdrucktriebwerk *H20* in Staged-Combustion-Bauweise für LOX/LH₂ mit 200 Kilonewton Schub für das europäische *ELDO*-Programm (*European Launcher Development Organisation*) zu entwickeln. Programmschwierigkeiten und der seinerzeit angekündigte Rückzug Deutschlands aus der Trägerentwicklung führten 1973 zur Auflösung der Firma Cryorocket, die aber aufgrund der fruchtbaren deutsch-französischen Zusammenarbeit gemeinsam mit der späteren Gründung der *EADS*, *Airbus Defence and Space*, und der *ArianeGroup* zum Wegbereiter der europäischen Integration gezählt werden darf.

In Europa konzentrierte man sich nachfolgend auf den **Nebenstromzyklus**. Beispiele sind die Triebwerke für die Ariane-Familie *Viking*, *HM7A/B*, *HM60* bzw. *Vulcain*, *Vulcain 2* und *Vulcain 2.1*.



RFA-Triebwerk Helix



Bild: ArianeGroup

Das Prometheus-LOX/Methan-Triebwerk

Der **Hauptstromzyklus** wurde zunächst für die *Ariane-5-ME*-Oberstufe avisiert, dann für die *Ariane 6* im Vinci-Triebwerk in Expanderbauweise umgesetzt. 2007 wurde die Staged-Combustion-Technologie im Rahmen des ESA-Demonstratorprogramms *SCORE-D* erneut aufgegriffen. Es gab Tests auf Subsystemebene, bevor das Programm aufgrund auseinandergehender Interessen der Agenturen eingestellt wurde. Aktuell wird der Hauptstromzyklus als Staged-Combustion-Triebwerk von RFA verfolgt, technologisch teilweise aufbauend auf den *RD-8*-Triebwerken des ukrainischen Raketenherstellers *Yuzhnoye*. Die bereits angesprochenen Entwicklungen von Avio am M10-Triebwerk beruhen auf Arbeiten der russischen Kompetenz von **CADB (Chemical Automatics Design Bureau)** beim *RD-0146-Triebwerk*.

In der ehemaligen Sowjetunion fanden seit den 1950er-Jahren umfangreiche Versuche zur **Hauptstromtriebwerkstechnologie** statt, die letztlich zu einer Vielzahl von operationellen Staged-Combustion-Triebwerken mit unterschiedlichen Treibstoffkombinationen führten. Sogenannte Konstruktionsbüros, **OKB (Opytno Konstruktorskoye Byuro)**, unter der Leitung namhafter sowjetischer Raumfahrtione waren die treibenden Kräfte – unter anderem *OKB-456* mit *Valentin Glushko*, *OKB-1* mit *Sergei Korolev*, *OKB-154* mit *Semyon Kosberg*, *OKB-276* mit *Nikolai Kuznetsov* oder *OKB-586* mit *Mikhail Jangel*. Aus diesen OKB gingen Triebwerksfirmen hervor, die heute noch in Russland oder der Ukraine produzieren, zum Beispiel *NPO Energomash* (*OKB-456*), **CADB (OKB-154)** oder *Yuzhnoye* (*OKB-586*). Zunächst wurden Hauptstromtriebwerke für lagerfähige, hypergole Treibstoffe entwickelt, die zum Teil heute noch im Einsatz sind (das *RD-253* und *RD-0210* der *UR-500/Proton*). Eine weitere Ausrichtung erfolgte auf Basis von LOX/Kerosin, wie beim *RD-170/171* für die Trägerrakete *Zenit* oder dem *RD-8-LOX/Kerosin*-Triebwerk von *Yuzhnoye*. Bekannt wurde darüber hinaus das LOX/Wasserstoff-Triebwerk *RD-0120* für die sowjetische Trägerrakete *Energia*.

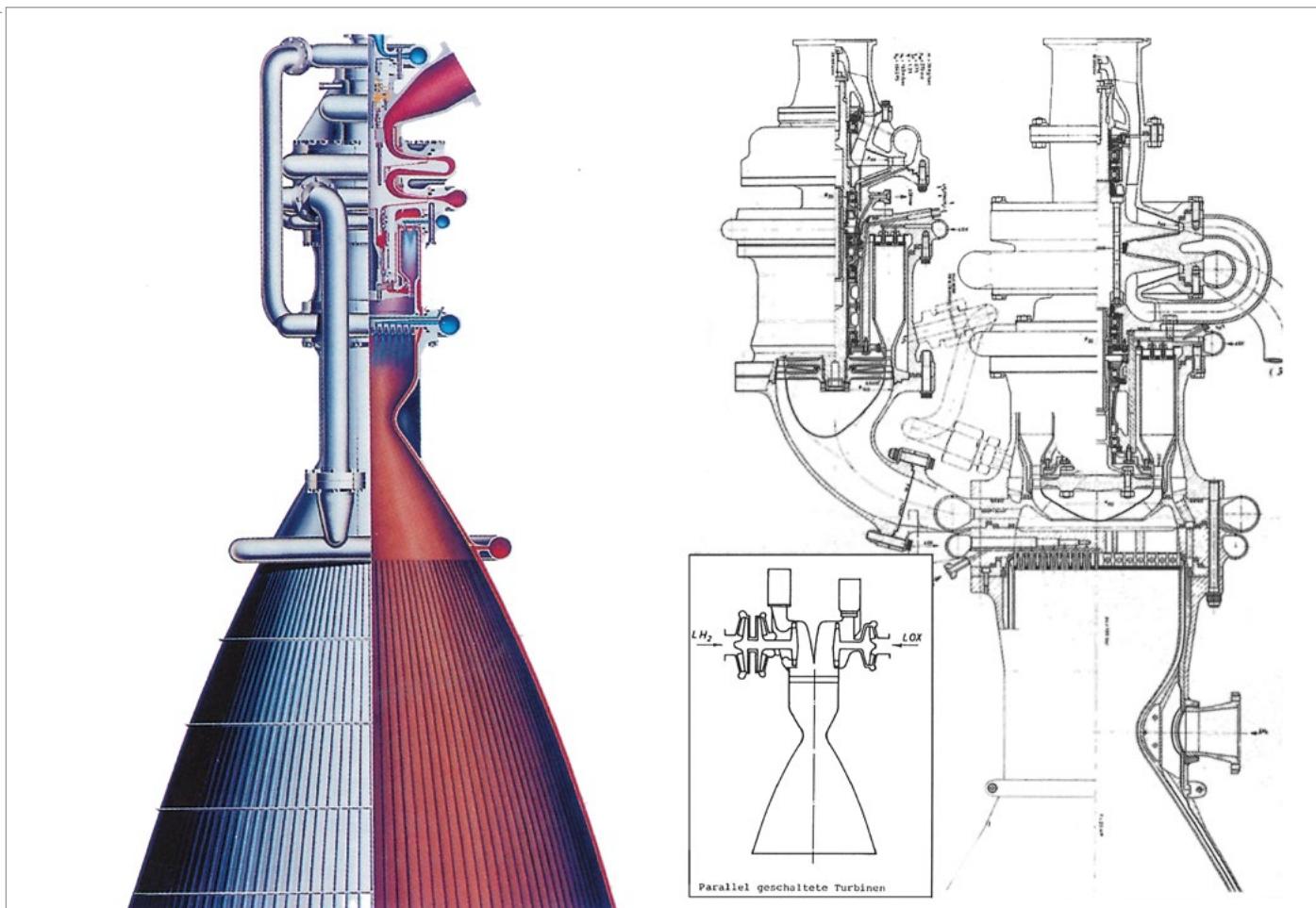
So wurde sowohl in Deutschland als auch in der ehemaligen Sowjetunion die Hauptstromtriebwerkstechnologie parallel und unabhängig voneinander vorangebracht, aber nur die ehemalige Sowjetunion erreichte die operationelle Reife. Insbesondere mit der LOX-reichen Vorverbrennung erlangten Russland und wei-

tere Länder der ehemaligen Sowjetunion Spitzentechnologien. Dieser Vorsprung führte in den 1990er-Jahren zu einer intensiven russisch-amerikanischen Zusammenarbeit und darf als Wegbereiter für neuere Triebwerksentwicklungen in den USA gesehen werden.

Die Amerikaner setzten in den 1950er-Jahren zunächst auf Nebenstromtriebwerke – Beispiele sind das *F-1* oder das *J-2* der *Saturn-V* und in der jüngeren Entwicklung das *RS-68* der *Delta-V* oder das *Merlin-1* der *Falcon-9*. Aufbauend auf den Ergebnissen von *BORD 1* beauftragte die amerikanische Luft- und Raumfahrtbehörde *NASA* 1967 das Unternehmen *Rocketdyne* damit, das **SSME-Triebwerk (Space Shuttle Main Engine)** zu entwickeln und zu produzieren. Die im Rahmen des Space-Shuttle-Programms entstandenen Triebwerke konnten einige Male wiederverwendet werden – wenn auch keines der Triebwerke die vertraglich vereinbarte Lebensdauer von 50 Missionen nur ansatzweise erreichte. Das *SSME* wird als *RS-25* aktuell in der neuen Schwerlastrakete **SLS (Space Launch System)** als Bestandteil des *Artemis*-Programms weiterverwendet. Staged-Combustion-Triebwerke mit LOX/Kerosin erhielten in den 1990er-Jahren mit russischer Hilfe Einzug in den operationellen Betrieb (das *RD-180*-Triebwerk in der *Atlas-V* oder das *NK-33*-Triebwerk in *Antares*, das jedoch erfolglos blieb).

In jüngerer Zeit sind weitere Hauptstromtriebwerke in den USA entwickelt worden, wie das mit LOX/Methan arbeitende **BE-4-Triebwerk** für den *New-Glenn*-Träger von *Blue Origin*, das außerdem im *Vulcan*-Träger von **ULA (United Launch Alliance)** Verwendung finden wird. Hier stand das *BE-4* zunächst im Wettbewerb mit einem LOX/Kerosin-Triebwerk namens *AR-1* von *Aerojet Rocketdyne*.

Die Firma *SpaceX* verfolgt mit dem LOX/Methan-Raptor-Triebwerk seit 2014 die sogenannte **Full-Flow-Staged-Combustion-Technologie**; der gesamte Brennstoff und Oxidator werden hier jeweils in zwei unterschiedlichen Vorbrennkammern vorverbrannt. Mit diesem Zyklustyp lassen sich sehr hohe Brennkammerdrücke von circa 360 bar realisieren. Diese Technologie wurde parallel zum europäischen *SCORE-D*-Programm in *NASAs IPD-Programm (Integrated Powerhead Demonstrator)* für LOX/Wasserstoff untersucht.



H2O-Staged-Combustion-Triebwerk (l.) und weitere Staged-Combustion-Studie MBB

Chemische Antriebe für zukünftige Raketen

Für Trägerraketen, die den Zugang zum Weltall gewährleisten, werden in absehbarer Zukunft ausnahmslos chemische – und aufgrund der zunehmenden Wiederverwendbarkeitsansätze – Raketenantriebe mit flüssigen Treibstoffen verwendet. Europa und insbesondere Deutschland als Wiege der Flüssigkeitsantriebe dürfen den technologischen Anschluss nicht verlieren. Dementsprechend wurden die aktuellen nationalen und europäischen Technologieprogramme aufgestellt. Die Bestandsaufnahme belegt, dass es sich bei Flüssigkeitstriebwerken um hochkomplexe Systeme mit langen Entwicklungszyklen handelt. Fortwährende, schrittweise Entwicklungsarbeiten aus über sechs Jahrzehnten haben das komplexe Know-how „Rocket Science“ in deutschen Unternehmen und Forschungseinrichtungen aufgebaut und konkurrenzfähige Produkte ermöglicht. Die Zuverlässigkeit des Ariane-Programms belegt dies eindrucksvoll und führte dazu, dass sogar die NASA das über zehn Milliarden US-Dollar teure James-Webb-Teleskop mit der Ariane 5 in den Weltraum bringen ließ.

Die neu herausgebrachte Raumfahrtstrategie der Bundesregierung betont die Bedeutung des autonomen europäischen Zugangs zum Weltall. Die Stärkung des (innereuropäischen) Wettbewerbsgedankens wird mehrfach mit Verweis auf die aktuelle Dynamik im von privaten New-Space-Ansätzen getragenen Kleinträgersegment zum Ausdruck gebracht. Für künftige große Leuchtturmmisionen, wie den Aufbau von Megakonstellationen,

komplexe planetare Forschungsmissionen oder die weltweit zunehmende astronautische Raumfahrt werden weiterhin zwingend Träger der Ariane-6-Klasse oder sogar größere Schwerlastträger, sogenannte *Heavy-Lift Launch Vehicles (HLLV)*, benötigt. Diese Marktsegmente stehen bereits in einem weltweiten Wettbewerb (siehe SpaceX mit Starship, Blue Origin mit New Glenn, oder aus China CASC mit CZ-9/LM-9). Die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit der Triebwerke werden hierfür von entscheidender Bedeutung sein. Das fundamentale Know-how – schubstarke Triebwerke auszulegen und zuverlässig in Serie herzustellen – ist in der europäischen Industrie und den Forschungsinstituten vorhanden. „Kleine Kinder – kleine Sorgen, große Kinder – große Sorgen“ – diese bekannte Aussage lässt sich auch auf Trägerraketenantriebe übertragen, sei es im Bereich der Verbrennungsstabilität, der Dynamik von rotierenden Teilen oder im Hochskalieren von Bauweisen.

Europas Stärke, nach gemeinsamen Lösungen zu streben, um im Weltmarkt wettbewerbsfähige Industrien zu entwickeln, wurde mit Airbus, aber auch Ariane in den vergangenen Jahrzehnten eindrucksvoll bewiesen. Allerdings zeichnet sich aktuell eine zunehmende innereuropäische Konkurrenzsituation ab. Der Wettbewerb unter den Ländern, in dem nationale Interessen zunehmend dominieren, zeigt sich unter anderem in der kürzlich beschlossenen vermarktungsseitigen Trennung von Ariane und Vega sowie in den wachsenden Kleinträgeraktivitäten. Die anhaltenden Verzögerungen bei der Entwicklung und Indienststellung der Ariane-6 haben die Notwendigkeit einer grundsätzlichen

Reform der über Jahrzehnte durch den Geo-Return geprägten Industriestruktur schlagungslos offengelegt. Die Zukunft wird zeigen, ob der von den ESA-Mitgliedsstaaten eingeschlagene Weg für Europa im internationalen Kontext der richtige bleibt.

Für die großen Missionen und die astronautische Raumfahrt werden die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit der Triebwerke bei zukünftigen europäischen Trägerraketen von entscheidender Bedeutung sein. Deutsche Unternehmen und Forschungseinrichtungen sind sehr gut für den Wettbewerb in Europa und international gegenüber USA, China, Russland und Indien aufgestellt. Diese Position sowie die technologischen Stärken gilt es in den kommenden Jahren zu erhalten und weiter auszubauen. ●

DIE AUTOREN

Dr.-Ing. Gerald Hagemann ist Vice President des Liquid Propulsion Center bei der ArianeGroup GmbH. Darüber hinaus arbeitet er als Site Manager für den Unternehmensstandort Ottobrunn/Taufkirchen. Innerhalb der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR) hat Hagemann die stellvertretende Leitung für den Fachausschuss R1.3 inne.

Dr.-Ing. Harry Adirim ist Geschäftsführer der Aerospace Innovation GmbH mit Sitz in Berlin. Bei der DGLR ist er als Leiter des Raumfahrt-Fachausschusses R1.3 „Antriebe“ aktiv.

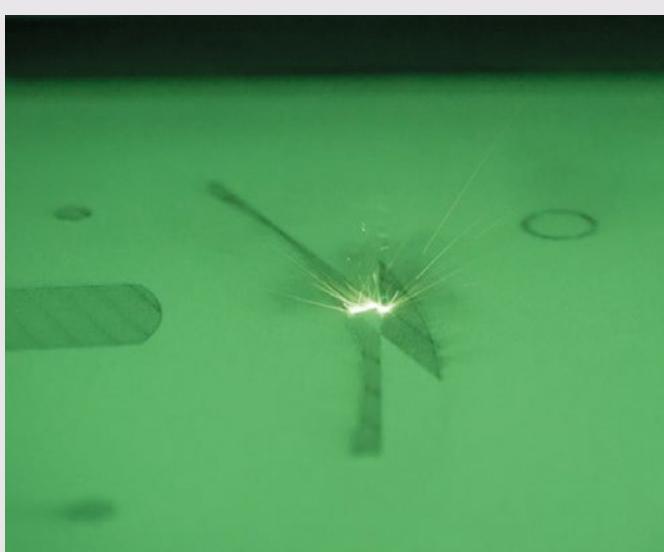
BAUWEISEN – EIN EXKURS

Die hohen Leistungsdichten in den Komponenten von **Raketentriebwerken** stellen besondere Anforderungen an Materialien und Fertigungsprozesse. So werden zum Beispiel in Turbopumpen hochfeste Titanlegierungen und **nickelbasierte Stähle** verwendet, um den Belastungen über weite Temperaturbereiche zu widerstehen. Fertigungsverfahren, die auf dem sogenannten *Near Net Shape*, also dem Herstellen des „fliegenden“ Bauteils durch beispielsweise additive Fertigung, basieren, vereinfachen den Herstellungsprozess. Denn die benötigten hochfesten Materialien sind in der spanenden Bearbeitung herausfordernd.

Im **Brennkammerbereich** werden spezielle metallische Werkstoffkombinationen verwendet, um die hohen Temperaturen zu beherrschen. In Kontakt mit dem Heißgas steht in der Regel eine **Kupferlegierung** mit sehr hohen Wärmeleitungseigenschaften, die die hohen Wärmeströme in ein Kühlmedium – in der Regel den Brennstoff – überführt. Dieser sogenannte *Liner* wird von einem hochfesten Material umgeben (meist **nickelbasierte Legierungen**). Beim 3D-Druck können Kühlkanäle direkt während des Drucks in den Liner integriert werden. Die lasttragende Stahlstruktur kann dann mittels Löten, Galvanisieren, Schweißen oder auch durch additive Fertigung wie dem

Kaltgasspritzen verbunden werden. Wichtiges Augenmerk gilt den finalen Materialdaten im Integrationszustand, da die unterschiedlichen Verfahren thermische Behandlungen erfordern, die die Materialeigenschaften beeinflussen. Die bei kleineren Triebwerken auftretenden, moderaten Wärmeströme erlauben darüber hinaus die Verwendung von einem Werkstoff für die gesamte Schubkammer, überwiegend ebenfalls **nickelbasierte Stähle**. Dabei hat sich zum Beispiel das laserbasierte Auftragschmelzen (*Laser Beam Melting, LBM*) als eine Schlüsseltechnologie für Unternehmen und Start-ups etabliert.

Oxidatorreiche Heißgase stellen zudem weitere Anforderungen an Materialien hinsichtlich ihrer Sauerstoffkompatibilität. Stand der Technik sind hier zum Beispiel Monel- oder spezielle oxidationsresistente Oberflächenbeschichtungen. Auch hier bietet der 3D-Druck neue Möglichkeiten: So hat SpaceX laut veröffentlichten Informationen für die oxidatorreiche Vorverbrennung im Raptor-Triebwerk einen besonders resistenten **Nickelwerkstoff** entwickelt. Letztlich gilt es, die Komplexität von Raketentriebwerken so gering wie möglich zu halten. Dies schließt vor allem die Minimierung von Komponenten wie Spülleitungen und Ventile ein, um sich auf das technologisch Wesentliche im Triebwerk fokussieren zu können.



3D-Druck, am Beispiel von Laser Beam Melting: Drucken und Reinigungsprozess



Hoch hinaus mit Kleinsatelliten

20 Startplätze ins All vergeben

Alle Gewinnerinnen und Gewinner der Kleinsatelliten-Wettbewerbe auf einen Blick.
Aufgenommen wurde das Foto mit dem SpaceMast-Kameramast von einem der Gewinnerprojekte

Am 23. November 2023 hat die Deutsche Raumfahrtagentur im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) im Rahmen der zweiten nationalen Kleinsatellitenkonferenz die Gewinnerinnen und Gewinner der drei zum Thema passenden Wettbewerbe in Berlin gekürt: des Mikrolauncher-Nutzlast-Wettbewerbs, des Kleinsatelliten-Wettbewerbs und des Kleinsatelliten-Nutzlast-Wettbewerbs.

Mit der zunehmenden Kommerzialisierung der Raumfahrt gewinnen Kleinsatelliten immer mehr an Bedeutung. Prognosen gehen davon aus, dass bis 2030 **mehrere tausend solcher Satelliten** ins Weltall starten werden. Kleinsatelliten können aufgrund ihres geringen Gewichts von bis zu 500 Kilogramm in größeren Stückzahlen und damit günstiger und schneller als herkömmliche Satelliten produziert werden. Genau deswegen sind sie vielfältig und flexibel für unterschiedlichste weltraumbasierte Anwendungen und Dienstleistungen einsetzbar – von der Telekommunikation über Erdbeobachtung und Klimaforschung bis hin zur Erprobung neuer Technologien im All. Um diese Entwicklungen voranzutreiben, hat die Deutsche Bundesregierung **drei Wettbewerbe** der Deutschen Raumfahrtagentur finanziert. Der erste Wettbewerb, der bereits 2020 an den Start ging, ist der *Mikrolauncher- und Nutzlasten-Wettbewerb*. Er befindet sich in der dritten und letzten Phase. Hinzugekommen sind 2023 der *Kleinsatelliten-Wettbewerb* und der *Kleinsatelliten-Nutzlast-Wettbewerb*.

Auf der Kleinsatellitenkonferenz wurden die Gewinnerinnen und Gewinner der drei Wettbewerbe nun gekürt. Die Luft- und Raumfahrtkoordinatorin der Bundesregierung, Dr. Anna Christmann, überreichte die Urkunden. Sie betonte: „Ich freue mich sehr, dass



Bild: Rocket Factory Augsburg

Die ersten Kleinsatelliten aus den Wettbewerben sollen 2024 auf dem zweiten RFA-One-Träger starten

wir mit dieser Initiative den Aufbau von Transportkapazitäten in den Weltraum, die Entwicklung kleiner Satelliten für wissenschaftliche Missionen und die Erprobung neuer Technologien unterstützen können. Der Wettbewerb kommt insbesondere Start-ups und KMU zugute und setzt damit auch den wichtigen Schwerpunkt New Space der Raumfahrtstrategie in die Tat um.“ Auch die enge Zusammenarbeit von Hochschulen und Forschungseinrichtungen mit der Wirtschaft sei ganz im Sinne der kürzlich aktualisierten Raumfahrtstrategie der Bundesregierung. „Wir sehen diese Wettbewerbe als Katalysatoren und Wegbereiter für die Kommerzialisierung von Raumfahrtaktivitäten in Deutschland und Europa“, ergänzte Dr. Walther Pelzer, DLR-Vorstandsmitglied und Generaldirektor der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR.

Letzte Phase für den Mikrolauncher-Wettbewerb

Der Mikrolauncher-Wettbewerb startete bereits am 15. Mai 2020. Der Wettbewerb fördert deutsche Start-ups, die Mikrolauncher entwickeln und kommerziell betreiben wollen, in einer Gesamthöhe von 25 Millionen Euro. Teilnehmen konnten deutsche Start-ups, die Transportdienstleistungen von der Erde in den Orbit (Earth to Orbit) auf Basis eines selbst entwickelten MikroLaunchers anbieten. Voraussetzung für die Teilnahme war die Bereitschaft, den Mitflug von seitens der Deutschen Raumfahrtagentur ausgewählten Nutzlasten mit jeweils maximal 150 Kilogramm Gesamtmasse auf den geförderten Qualifizierungsflügen kostenfrei zu ermöglichen. Maximal fünf Unternehmen konnten daran teilnehmen, von denen während der zweijährigen Laufzeit **zwei Gewinnerprojekte** von einer Expertenjury ausgewählt wurden.

In der Vorrunde (Phase 1 im Jahr 2020) konnten sich die drei teilnehmenden Start-ups *HyImpulse Technologies GmbH*, *Isar Aerospace Technologies GmbH* und *Rocket Factory Augsburg AG* gegen ihre Konkurrenz durchsetzen und erhielten jeweils 500.000 Euro Fördergelder. Als Gewinner der ersten Hauptrunde (Phase 2 im Jahr 2021) ging Isar Aerospace Technologies GmbH hervor und erhielt eine Förderung von elf Millionen Euro. In Phase 3 des Wettbewerbs im Jahr 2022 erreichte die Rocket Factory Augsburg AG die höchste Bewertung und konnte sich damit ebenfalls eine Förderung in gleicher Höhe sichern.

Darauf aufbauend startete die Deutsche Raumfahrtagentur mit dem Mikrolauncher-Nutzlast-Wettbewerb am 20. Juni 2022 die zweite Wettbewerbsrunde. Ziel der Runde war es, ausgewählten

Bild: DLR



Der SpaceMast gleicht einem ausfahrbaren „Selfie-Stick“ für Raumfahrtanwendungen. Bei einem Flug auf einem Mikrolauncher soll die Technologie erprobt werden

Kleinsatelliten den kostenlosen Mitflug auf den in Wettbewerbsrunde eins entwickelten und gebauten Kleinträgern zu ermöglichen. Dieses Mal ging es um geeignete Klein- und Kleinstsatelliten für den zweiten Start des Mikrolaunchers *RFA One* der Rocket Factory Augsburg. Die Bewerbungsfrist endete am 30. April 2023, die Auswahl der Gewinner erfolgte bis zum 30. Juni 2023.

Nutzlasten für den zweiten Mikrolauncher-Start stehen fest

Institutionen aus Deutschland, Bulgarien, Spanien und Polen konnten sich mit insgesamt acht Kleinsatelliten durchsetzen. Ins Weltall geht es für die Gewinnersatelliten 2024. Dazu zählen gleich zwei DLR-Institute. Das *DLR-Institut für Materialphysik im Weltraum* schickt einen Satelliten auf die Reise, der die „Selbstorganisation“ von Strukturen untersucht, die von aktiven, selbst angetriebenen Mikroorganismen, sogenannten Mikroschwimmern, gebildet werden. Außerdem wollen die Forschenden herausfinden, wie sich die Mikrogravitationsbedingungen auf die Stabilität der Messeinheiten auswirken. Im Gegensatz dazu hat sich das *DLR-Institut für Systemleichtbau* das Hauptziel gesetzt, den Kameramast *SpaceMast* unter den Widrigkeiten des Orbitals zu testen. Die Demonstration des erfolgreichen Aus- und Einfahrens wird dabei von einer externen Kamera aufgenommen.

Gleich vier Forschungsprojekte von Hochschulen und Universitäten haben sich ebenfalls für einen Mitflug qualifiziert. Die *Hochschule Bremen* schickt ihren Satelliten *Vibes Pioneer* ins All. Dieser soll die Messung mechanischer Störungen in der Umlaufbahn mit dem eigens entwickelten Messsystem und die Unterdrückung ihrer Auswirkungen auf die Satellitenbilder untersuchen. Die studentische Gruppe *WARR e.V. (Wissenschaftliche Arbeitsgemeinschaft für Raketentechnik und Raumfahrt)* der *Technischen Universität München* will das Allzweckbussystem *Move Beyond* im All testen. Das Bussystem für Satellitenplattformen basiert auf einem neuen, skalierbaren und flexiblen Ansatz, um Nutzlasten unterschiedlicher Art aufnehmen zu können.



Bild: DLR

Acht Projekte gewannen eine Mitfluggelegenheit auf einem RFA-One-Träger

Die *Warsaw University of Technology* (Polen) hingegen unterzieht einen kundenspezifischen Butan-Warmgas-Antrieb und Lageregelungsalgorithmen einen genauen Test im Orbit. Die *Universitat Politècnica de Catalunya* (Spanien) geht mit der wissenschaftlichen Mission *3Cat-8* zur Überwachung und Charakterisierung ionosphärischer Szintillation an den Start. Dabei wird die Aussendung von Licht aus einem (durch Strahlungsenergie) angeregten Körper und die Überwachung von Radiofrequenzemissionen im sogenannten L- und K-Band untersucht.

Außerdem sind **zwei Unternehmen** unter den Gewinnerteams: Die *Vyoma GmbH* aus Deutschland hat sich das Thema „Space Situational Awareness“ zur Aufgabe gemacht, in dessen Rahmen Weltraummüll und Objekte mit Abmessungen größer als zehn Zentimeter überwacht und verfolgt werden. Weiterhin soll ein eigener, hochpräziser Katalog von Weltraummüll und -objekten für den niedrigen Erdorbit aufgebaut und bestehende Kataloge in allen Orbitregionen verbessert werden. Zu guter Letzt geht das Unternehmen *Endurosat* aus Bulgarien auf eine Technologieerprobungsmission der Satellitenplattform *16U-Plattform*. Sie testen dabei neue Avionik und ein neues Stromversorgungssystem, den Nutzlastcomputer für die Verarbeitung an Bord sowie neuartige Kommunikationssysteme.

Der Kleinsatelliten-Wettbewerb 2023

Am 3. Juli 2023 startete zudem für vier Wochen der Kleinsatelliten-Wettbewerb. Teilnehmen konnten Unternehmen und Einrichtungen, die ihren Hauptsitz in der Europäischen Union haben. Die Gewinnerprojekte erhielten dabei die Aussicht auf eine kostenlose Mitfluggelegenheit für ihren Kleinsatelliten auf europäischen Mikrolaunchern bis zum Jahr 2025. Die Auswahl wurde von einem Gremium aus Mitarbeitenden der Deutschen Raumfahrtagentur, der *Europäischen Weltraumorganisation ESA* und des *Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)* getroffen.

Die Gewinner des Kleinsatelliten-Wettbewerbs

Insgesamt konnten sich **fünf deutsche Unternehmen** im Rahmen des Wettbewerbs durchsetzen und erhalten so eine Startmöglichkeit ins Weltall. Die *OroraTech GmbH* möchte mit acht Kleinstsatelliten in Formation Waldbrände mithilfe von Infrarotkameras im Ein-Stunden-Takt beobachten. Auch die *TALOS GmbH* setzt auf eine Gruppe von Kleinsatelliten. Gleich fünf von ihnen sollen



Bild: DLR

Das Unternehmen Vyoma erhielt mit seinen Kleinsatelliten zum Thema Weltraummüll gleich zwei Startplätze bei den ausgeschriebenen Wettbewerben. Vyoma CPO, Dr. Luisa Buinhas, (l.) nahm die Auszeichnung von Dr. Anna Christmann (r.) entgegen



Fünf deutsche Unternehmen erhielten beim Kleinsatelliten-Wettbewerb einen Startplatz

Wild- und Nutztiere im Rahmen des *ICARUS*-Projekts (*International Cooperation for Animal Research Using Space*) der Max-Planck-Gesellschaft verfolgen.

Die *Planetary Transportation Systems GmbH* wiederum bringt drei Kleinstsatelliten ins All, um mithilfe von Quantentechnologie Erdbeobachtungsdaten zu klassifizieren und weiterzuverarbeiten. Mit vier Kleinsatelliten erprobt das Unternehmen *Rapid Cubes GmbH* bi-direktionale Datenkommunikation für *Internet-of-Things*-Anwendungen im Arten- und Naturschutz. Und die *Vyoma GmbH* hat mit ihrem Ansatz zur Überwachung von Weltraummüll so überzeugt, dass sie sich neben dem Mikrolauncher-Wettbewerb auch in diesem Wettbewerb durchsetzen konnten.

Kleinsatelliten-Nutzlast-Wettbewerb mit extra Plattformen

Am 25. Juli 2023 startete dann auch der Kleinsatelliten-Nutzlast-Wettbewerb. Die Gewinnerinnen und Gewinner haben für ihre Nutzlast neben der Mitfluggelegenheit auf europäischen Mikrolaunchern auch die Aussicht auf eine kostenlose Kleinsatellitenplattform. Für die Teilnahme am Wettbewerb mussten die Besitzerinnen und Besitzer der Kleinsatellitennutzlast ein Missionsziel und mindestens einen konkreten Anwendungszweck vorweisen, etwa in den Bereichen Erdbeobachtung, Kommunikation oder Technologiequalifikation. Alternativ zur Kleinsatellitenplattform kann die Kleinsatellitenutzlast auch neben Nutzlasten anderer Betreibenden auf einem größeren Satelliten als *Hosted Payload* untergebracht werden. Wie schon beim Kleinsatelliten-Wettbewerb konnten hier Unternehmen und Einrichtungen teilnehmen, die ihren Hauptsitz in der Europäischen Union haben und die Kleinsatellitenutzlasten betreiben, nutzen oder entwickeln.

Die Gewinnerteams des Kleinsatelliten-Nutzlast-Wettbewerbs erhalten die Möglichkeit, ihre Nutzlast bis 2025 kostenlos auf einem europäischen Mikrolauncher mitfliegen zu lassen. Die Auswahl wurde auch hier von einem Gremium aus Mitarbeitenden der Deutschen Raumfahrtagentur, der ESA und des BMWK getroffen.

Gewinner des Kleinsatelliten-Nutzlast-Wettbewerb

Im Kleinsatelliten-Nutzlast-Wettbewerb konnten sich insgesamt **sieben deutsche Unternehmen** durchsetzen. Nachhaltigkeit und die Vermeidung von Weltraumschrott standen hierbei im beson-



Sieben Projekte setzten sich beim Kleinsatelliten-Nutzlast-Wettbewerb durch

deren Fokus. Die *Marble Imaging GmbH* möchte mit einer Multispektralkamera Erdbeobachtungsdaten mit einer hohen Auflösung generieren. Die *Berlin Space Consortium GmbH* hingegen testet ein elektrisches Kleinsatellitenantriebssystem für Bahnmanöver und zur Vorbeugung weiteren Weltraumschrotts. Das Unternehmen *High Performance Space Structure Systems GmbH* entwickelt ein Bremssegel zur Vorbeugung von Weltraumschrott. Dieses sorgt dafür, dass Kleinsatelliten nach Missionsende wieder in die Atmosphäre eintreten können. Das Segel soll während der Mission im Rahmen des Wettbewerbs erprobt werden. Die *InSpacePropulsion Technologies GmbH* setzt bei ihrem Unternehmen auf Nachhaltigkeit und möchte mit dem Flug ins All zwei chemische Antriebssysteme mit grünem Treibstoff für Kleinsatelliten qualifizieren, die unter anderem auch Rendezvous- und Ausweichmanöver ermöglichen.

Ebenfalls zu den Gewinnerteams gehört *Airbus Defence and Space GmbH*. Das Unternehmen erprobt ein elektrisches Antriebssystem für Kleinsatelliten, das alternative Kraftstoffe verwendet – in diesem Falle Iod. Das Start-up *Quantum Galactics GmbH* testet ein Cybersicherheitstestsystem, das den Ausfall eines Satelliten durch Hackerangriffe verhindern soll. Zu guter Letzt reiht sich die *Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH (IABG)* in die Reihe der Gewinnerteams ein. Das Unternehmen entwickelt eine KI-Nutzlast, die die Ausfallsicherheit von KI-Modellen direkt am Sensor beziehungsweise am Satelliten gewährleistet. ●

DIE AUTORINNEN UND AUTOREN

Nicolas Darkow ist Raumfahrtingenieur bei der Deutschen Raumfahrtagentur im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Bonn. Nach einigen Stationen am forschenden DLR in der Wissenschaft und Strategie in Bremen, Köln und Hamburg koordiniert er nun unter anderem das nationale Programm der Satellitensubsysteme und Kleinsatelliten.

Nicole Kretschmer ist Redakteurin der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR). Nach ihrem journalistischen Volontariat war sie als Online-Redakteurin beim Wissenschaftsladen Bonn und als Mitarbeiterin in der Hochschulkommunikation an der Alanus Hochschule für Kunst und Gesellschaft tätig.

Thomas Reiter: Von Weltraumspaziergängen zur DGLR-Ehrenmitgliedschaft

1989 begann die *Europäische Weltraumorganisation ESA* mit der Suche nach geeigneten Kandidatinnen und Kandidaten für ihre zweite Astronautengruppe. Unter mehr als 22.000 Bewerbenden aus ganz Europa setzte sich unter anderem der damalige Jagdbomberpilot der Bundeswehr, **Thomas Reiter**, durch. Als achter Deutscher im All, erster ESA-Astronaut, der einen Weltraumausstieg unternahm und insgesamt 350 Tage im Weltraum verbrachte, gilt Reiter seitdem als einer der erfahrensten europäischen Astronauten. In Zusammenarbeit mit Forschenden am Boden führte er mehr als achtzig zukunftsweisende Experimente durch und verbrachte mehr als 14 Stunden bei Außenbordeinsätzen. Seit 1984 ist Reiter Mitglied der *Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR)*. Für seine langjährige und außergewöhnlich verdienstvolle Mitarbeit in der Gesellschaft wurde er nun mit der DGLR-Ehrenmitgliedschaft ausgezeichnet.

Thomas Reiter wurde am 23. Mai 1958 in Frankfurt am Main geboren. Seine Eltern waren beide erfahrene Segelflieger und legten ihm die Begeisterung für die Fliegerei quasi in die Wiege. Die ersten astronomischen Raumfahrtmissionen in den 1970er-Jahren, wie die Mondlandung von Apollo 11 oder die Gemini-Raumflüge, prägten den damaligen Schüler nachhaltig. „Ich kann mich noch gut daran erinnern, als ich als 11-Jähriger am frühen Morgen mit meinem Vater gebannt vor dem Fernseher saß und die ersten Schritte von Neil Armstrong verfolgte. Ein Gedanke, der mich damals wie heute bewegt,



Bild: NASA

Thomas Reiter an Bord des Spaceshuttle Discovery im Jahr 2006

ist: Was muss das für ein Gefühl sein, mit eigenen Füßen auf einem anderen Himmelskörper zu stehen?“

Nach seinem Abitur 1977 am Goethe-Gymnasium in Neu-Isenburg trat Reiter seinen Grundwehrdienst an, verlor aber die Fliegerei nie aus den Augen. Bei der Bundeswehr konnte er im Anschluss seinen Wunsch, die Theorie mit der Praxis zu verbinden, verwirklichen. Er verpflichtete sich als Berufssoldat und besuchte 1978 und 1979 die Offiziersschule der Luftwaffe in Fürstenfeldbruck. Das Studium der **Luft- und Raumfahrttechnik** an der Universität der Bundeswehr München schloss er 1982 als Diplom-Ingenieur ab. Im US-Bundesstaat Texas ließ sich Reiter zum **Kampfpiloten** ausbilden. Darüber hinaus durchlief er in Manching die Ausbildung zum **Testpiloten 2. Klasse**, die es ihm später ermöglichte, an zahlreichen Flugtest-

projekten sowie an ESA-Studien für das Raumflugzeug *Hermes* und an der Entwicklung von Ausrüstung für das *Columbus-Modul* der ESA mitzuwirken.

Plötzlich Astronaut

Auf die Ausschreibung für die zweite Astronautengruppe machte ihn sein damaliger Kommandant aufmerksam. „*Mit diesem Gedanken hatte ich mich bis zu dem Zeitpunkt nie wieder intensiv beschäftigt, denn die Chance, in Europa Astronaut zu werden, war verschwindend gering. Da war ich natürlich völlig hin und weg.*“ Neben vier weiteren Männern und Frauen setzte sich der Deutsche schließlich durch und war fortan Teil des **ESA-Astronautenteams**. Die Ausbildung musste jedoch verschoben werden, da Reiter auch für das weltweit berühmteste Testpilotenausbildungszentrum ausgewählt wurde: die *Empire Test Pilots' School* in *Boscombe Down*, England, wo er 1992 die Ausbildung zum **Testpiloten 1. Klasse** absolvierte. Zurück in Deutschland durchlief Reiter die Grundausbildung am *Europäischen Astronautenzentrum* in Köln. Sein Ziel: Vorbereitung auf die erste europäische **Langzeitmission** zur Raumstation *Mir*. Infolgedessen begab er sich im August 1993 in das *Gagarin-Trainingszentrum* in der Nähe von Moskau, um mit der **Ausbildung** zum Flugingenieur, einschließlich der Ausbildung für Weltraumspaziergänge und den Betrieb des Sojus-Raumschiffs zu beginnen.



Zur EUROMIR 95 Mission brachen die drei Astronauten Sergei Avdeyev, Yuri Gidzenko und Thomas Reiter (v. l. n. r.) 1995 auf

Am 3. September 1995 hob Reiter mit zwei russischen Kosmonautenkollegen als achter Deutscher zu der 179-tägigen Langzeitmission **EUROMIR 95** ab. Neben 41 wissenschaftlichen Experimenten und zahlreichen Wartungsarbeiten an der Raumstation, unternahm Reiter zwei Weltraumspaziergänge. Damit war er der erste ESA-Astronaut und erste Deutsche, der einen Weltraumausstieg unternahm. Im Anschluss an die Mission wurde Reiter als erster Nicht-Russe dafür ausgebildet, eine Drei-Personen-Sojus-Kapsel bei ihrer Rückkehr aus dem Weltraum zu kommandieren.

Von September 1997 bis März 1999 wurde Thomas Reiter zur deutschen Luftwaffe abkommandiert, wo er als **Kommandeur** der fliegenden Gruppe eines **Tornado-Jagdbombergeschwaders** tätig war. Nach seiner Rückkehr zur ESA nutzte er seine Erfahrungen, um verschiedene ESA-Programme wie das *Automated Transfer Vehicle* und den *European Robotic Arm (ERA)* zu unterstützen. Von Juni 1999 bis März 2000 setzte er seine Ausbildung am russischen Kosmonauten-Trainingszentrum fort, um sich mit den russischen Segmenten der damals im Aufbau befindlichen *Internationalen Raumstation ISS* vertraut zu machen.

Ab April 2001 bereitete sich Reiter auf die erste **europäische Langzeitmission** auf der ISS vor. Bis zum Antritt der sogenannten *Astrolab-Mission* arbeitete er außerdem im Projektteam für das europäische Forschungsmodul *Columbus* mit. Am 4. Juli 2006 startete Reiter schließlich als Flugingenieur an Bord des Spaceshuttles *Discovery* zur ISS. Fast ein halbes Jahr führte er dort zahlreiche technische und humanwissenschaftliche Experimente sowie zwei Außenbordeinsätze durch. Mit insgesamt 350 Tagen im All zählt Reiter noch immer zu den erfahrensten europäischen Astronauten. Sein Wissen und seine Erfahrungen bringt er seit dem Austritt aus dem aktiven Dienst als Astronaut weiterhin vor allem in die Forschung ein.

Im Dienste der Raumfahrt

Bis heute ist Reiter voll und ganz der Raumfahrt verschrieben: „Ich denke, das Grundbedürfnis vieler Menschen, das Unbekannte zu erforschen, ist auch bei mir stark ausgeprägt. Zudem macht mir die Zusammenarbeit mit internationalen Part-



Bild:ESA

Als Direktor der ESA für den Bereich bemannte Raumfahrt und Missionsbetrieb empfängt Thomas Reiter 2011 die irische Präsidentin Mary McAleese und ihren Ehemann. Hier zeigt er den Gästen das Columbus-Modul für die Internationale Raumstation

nern ausgesprochen viel Spaß! Insbesondere in geopolitisch schwierigen Zeiten trägt die Raumfahrt einen großen Teil zur Völkerverständigung bei. Das sehen wir beispielsweise an der ISS, wo über 100 Länder weltweit an der Forschung beteiligt sind und zum Wohle aller beitragen. Ebenso wichtig ist mir der dritte Aspekt: Die Raumfahrt treibt unsere technologische Entwicklung voran und bringt viele Fortschritte in Bereichen wie Medizin, Klima oder neuartige Werkstoffe.“

Auch zusammen mit der DGLR möchte Reiter diese Entwicklung vorantreiben. Als Senats- und ehemaliges Präsidiumsmitglied hat der Luft- und Raumfahrtingenieur sowohl auf dem *Deutschen Luft- und Raumfahrtkongress (DLRK)*, der Raumfahrtkonferenz und bei Veranstaltungen der Bezirksgruppen Vorträge gehalten und unterstützt die DGLR durch sein Netzwerk und sein Fachwissen. Umgekehrt kam er durch das DGLR-Netzwerk mit Persönlichkeiten in Kontakt, die ihm neue Türen eröffneten. So war es etwa **Dr. Michael Sölter**, der ihm 2006 vorschlug, dem **Vorstand des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR)** beizutreten. Zuständig für Raumfahrtforschung und -technologie war Reiter hier von Oktober 2007 bis März 2011 aktiv. Auch der ehemalige deutsche Astronaut **Prof. Dr. Ernst Messerschmid** und die früheren DGLR-Präsidenten **Prof. Dr. Joachim Szodruch** und **Prof. Rolf Henke** gaben Reiter wichtige Impulse, die die Zeit nach seiner aktiven Raumfahrtkarriere prägten.

Über die Kontakte hinaus ist für den Raumfahrer der Zugang zu inhaltlichen Themen wichtig, die ihm neue Blickwinkel

eröffnen. „Während des *DLRK 2023* besuchte ich unter anderem wissenschaftliche Vorträge, die nicht zu meinem Haupt-einsatzbereich gehören. Das empfand ich als unglaublich interessant und eine echte Besonderheit der DGLR. Sie bleibt ihrer Kernexpertise Luft- und Raumfahrt treu, beleuchtet aber auch Querschnittsthemen wie künstliche Intelligenz und Quantentechnologie, die heute fester Bestandteil der Raumfahrt sind.“

Von April 2011 bis Dezember 2015 war Reiter Direktor des ESA-Direktorats für bemannte Raumfahrt und Missionsbetrieb und leitete den europäischen Beitrag zur ISS, die astronautischen Raumfahrtaktivitäten der Agentur sowie den Betrieb der ESA-Satellitenmissionen und des Bodensegments. Bis Mai 2021 war Reiter ESA-Koordinator für internationale Agenturen und Berater des Generaldirektors. Für seine außerordentliche Karriere und seine Verbundenheit zur DGLR erhielt Thomas Reiter am 23. November 2023 im Rahmen der Mitgliederversammlung die **Ehrenmitgliedschaft**. ●

DIE AUTORIN

Caroline Mahlow war Redakteurin der *Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR)*. Zuvor verantwortete sie die Kommunikation der Abteilung *Intelligente und Verteilte Systeme* des *Instituts für Softwaretechnologie* des *Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR)* und war ein Jahr als Redakteurin beim *DLR Projektträger* tätig.

DGLR-Nachwuchsgruppe DASH forscht an Exoskeletten

Sie sind das Gewinnerteam des ersten Nachwuchsgruppenwettbewerbs der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DLR): der DASH Exoskeleton Student Club von der Technischen Universität München (TUM). Mobilität ist ein grundlegendes Bedürfnis. DASH arbeitet deshalb an der Schnittstelle zwischen Technik und Mensch. Das Team hat es sich zum Ziel gesetzt, querschnittsgelähmten Menschen (Paraplegiker) eine verbesserte Teilnahme am Alltagsleben zu ermöglichen. Das Projekt fokussiert sich auf die Entwicklung eines Exoskeletts, das nicht nur funktionell und effizient, sondern auch im Alltag praktisch anwendbar ist. Dazu haben sich Studierende verschiedenster Fachrichtungen, von Luft- und Raumfahrttechnik über Elektrotechnik bis zu Sportwissenschaften, zusammengeschlossen.

Nächstes Ziel für DASH ist die Teilnahme an der *Cybathlon Challenge 2024* in der Kategorie EXO. Der Cybathlon bietet eine Plattform, um technologische Entwicklungen voranzutreiben und sie einer breiten Öffentlichkeit vorzustellen. Dabei wird eine Pilotin oder ein Pilot – ein Mensch mit Paraplegie, also vollständiger Lähmung beider Beine – verschiedene Aufgaben mit Unterstützung des Exoskeletts durchführen. Diese Herausforderung dient dem Team dazu, die Grenzen der Technologie auszutesten, zu erweitern und letztendlich Menschen mit körperlichen Einschränkungen zu helfen, ihre Umgebung aktiver und selbstständiger zu gestalten.

Anforderungen an ein Exoskelett

Die Notwendigkeit der Interdisziplinarität ist dabei immanent. Die Orthopädiotechnik, eng verbunden mit der Mechatronik, erfordert ein tiefes Verständnis verschiedener wissenschaftlicher und technischer Disziplinen. Anatomisches Wissen über die menschliche Bewegung und Biomechanik ist genauso wichtig wie Fähigkeiten in Design, Materialwissenschaft und Elektronik. So soll ein Exoskelett entstehen, das die Bedürfnisse der Nutzenden in den Mittelpunkt stellt und dabei technische Feinheiten und die Ergonomie berücksichtigt.

Diese Kenntnisse sind kritisch, da bei paraplegischen Personen spezifische physio-

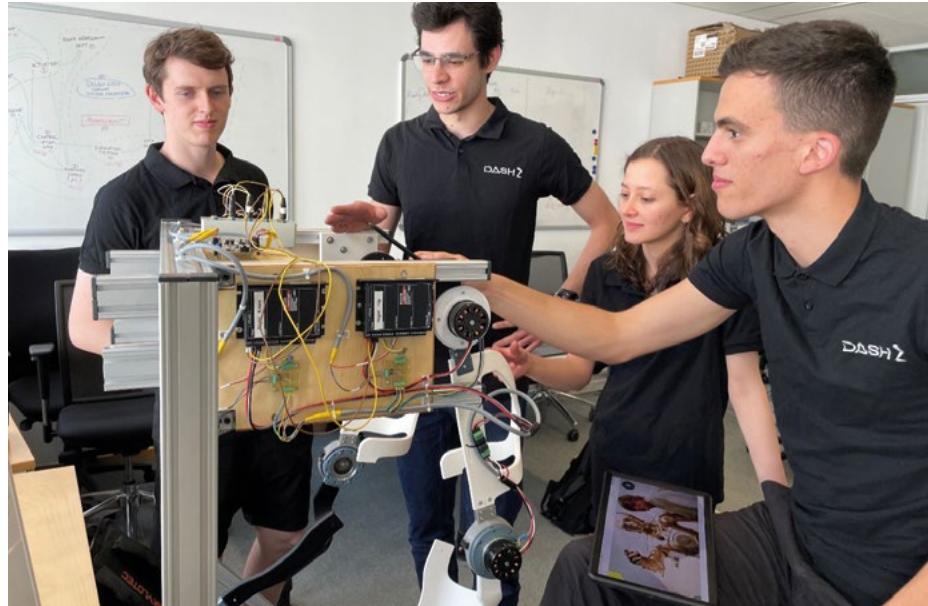


Bild: TUM DASH

Zum Testen verschiedener Trajektorien können an Prototypen Einstellungen angepasst und erprobt werden

logische Veränderungen berücksichtigt werden müssen. Die Rückbildung der Beinmuskulatur resultiert in eine reduzierte Muskelmasse und Kraft, was die Entwicklung von **Unterstützungssystemen**, die externe Kraftanwendung erfordern, maßgeblich beeinflusst. Gleichzeitig sind oft die Sehnen verkürzt. Das schränkt die Bewegungsfreiheit der Gelenke ein und erhöht die Designanforderungen für Exoskelette. Diese müssen so konzipiert sein, dass sie eine ausreichende **Bewegungsfreiheit** bieten und gleichzeitig die Sehnen durch sanfte Dehnung unterstützen, um einer weiteren Verkürzung entgegenzuwirken und die Beweglichkeit zu verbessern.

Ein weiteres biomechanisches Thema ist die Knochenerkrankung Osteoporose, die durch verringerte Knochendichte gekennzeichnet ist und bei Paraplegikern durch den Mangel an Gewichtsbelastung der unteren Extremitäten begünstigt wird. Die Entwicklungen müssen daher so beschaffen sein, dass sie die **Belastung** des Knochens **fördern**, ohne das Risiko von Frakturen zu erhöhen. Die biomechanischen Herausforderungen enden hier jedoch nicht. Es müssen auch die spezifischen **Bewegungsmuster** der Nutzenden in Betracht gezogen werden. Jeder Mensch hat ein individuelles Gangbild. Die Entwicklung von Prothetik und Exoskeletten erfordert daher eine Personalisierung, um den Nutzenden eine natürliche und effiziente Bewegung zu ermöglichen.

Exoskelette in der Luft- und Raumfahrt

Exoskelette finden in der Luft- und Raumfahrttechnik vielfältig Verwendung. Leichte, aber hochstabile **Materialien**, wie sie in der Luft- und Raumfahrt üblich sind, sind entscheidend für die Herstellung von tragbaren und belastbaren Exoskelettstrukturen. Insbesondere die Notwendigkeit der Gewichtseinsparung in der Raumfahrt führte zur Entwicklung von Hochleistungsmaterialien wie kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff und Titanlegierungen. Diese Materialien werden für die Herstellung von Prothesen, Implantaten und chirurgischen Instrumenten verwendet, um die Haltbarkeit und die biokompatiblen Eigenschaften zu verbessern. Bei Exoskeletten tragen faserverstärkte Materialien dazu bei, das Gewicht zu reduzieren und die Aktuatoren schlanker zu wählen, was ein weniger klobiges und damit praktischeres Produkt ermöglicht.

Auch fließen Kenntnisse aus der **Systemsteuerung** und **Sensorik**, die für die Steuerung von Luftfahrzeugen entwickelt wurden, in die Feinabstimmung der Bewegungsabläufe und der adaptiven Kontrollmechanismen des Exoskeletts ein. Die Regelungstechnik von Exoskeletten muss die menschliche Bewegung in Echtzeit erfassen und interpretieren können, um die einzelnen Komponenten entsprechend anzusteuern. Fortschrittliche

Algorithmen, wie aus dem Bereich des **maschinellen Lernens**, werden eingesetzt, um die komplexen Muster menschlicher Bewegungen zu „lernen“ und zu modellieren. Diese Algorithmen lassen das Exoskelett sich dynamisch an die Absichten des Benutzenden anpassen. Zu den modernen Ansätzen zählen prädiktive Regelungen, die die Bewegungsabsichten des Benutzenden vorhersehen und das Exoskelett entsprechend vorbereitend positionieren. Diese Vorhersagen basieren oft auf einer Kombination aus Sensorsignalen, die von Gyroskopen, Beschleunigungsmessern und piezoelektrischen Drucksensoren erfasst werden.

Auch brachte die Raumfahrttechnik Fortschritte in der **Sensorik und Telekommunikation** hervor. Die Miniaturisierung von Sensoren und drahtlose Datenübertragung ermöglichen es, die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine weiter zu optimieren. Durch eine Eye-Tracking-Brille kann der von der Pilotin oder dem Piloten des Exoskeletts anvisierte Punkt erkannt und die Steuerung zu diesem eingeleitet werden, was die Bedienung stark vereinfacht.

Technologiefortschritte für bessere Ergebnisse

In jüngerer Zeit haben Fortschritte in der **additiven Fertigung** zudem die Möglichkeiten zur Herstellung maßgeschneiderter Produkte erweitert. Durch parametrisierte Modelle wird somit eine Möglichkeit geschaffen, das Exoskelett schnell auf diverse Anatomien anzupassen. Zusätzlich können Geometrien realisiert werden, die mit herkömmlichen Fertigungsverfahren extrem zeit- und materialaufwendig wären.



Neben Mechanik ist das Projekt auch im Bereich der Elektronik eine gute Möglichkeit, Lernerfahrungen zu machen und praktische Kenntnisse zu sammeln



Auch das Löten gehört zum Standardrepertoire der Ingenieurinnen und Ingenieure

In der **Mechatronik** gibt es aktuell einige Trends, die DASH dabei unterstützen, Bewegungsmuster präzise und sicher zu realisieren, aber trotzdem robust sind. Um ein Exoskelett mit möglichst vielen Freiheitsgraden, die sich am menschlichen Bein orientieren, umzusetzen, sind viele Entwicklungen von Relevanz. Ein Beispiel sind **Harmonic Drives**, eine Form von Präzisionsgetrieben, die sich durch eine kompakte Bauweise und hohe Übersetzungsverhältnisse auszeichnen. Ihr Design ermöglicht eine hohe Drehmomentübertragung bei geringem Gewicht – wichtig für Anwendungen, bei denen es auf eine effiziente Raumnutzung ankommt. So können sie in einem Exoskelett präzise und reibungsarme Bewegungen unterstützen.

Ein weiteres Beispiel sind **Serial Elastic Actuators (SEAs)**, Aktuatoren, die eine Feder in die Kraftübertragungskette integrieren. Ihre Haupteigenschaft ist es, Energie zu speichern und wieder abzugeben, was besonders bei dynamischen Bewegungen vorteilhaft ist. So können mit Exoskeletten natürlichere Bewegungen erzeugt und die Interaktion zwischen dem Nutzenden und der Umgebung verbessert werden. Lineare Aktuatoren schließlich wandeln Rotationsbewegungen in lineare Bewegungen um und können präzise Kontrolle über die Stellbewegung ausüben. In Exoskeletten sorgen sie dafür, dass die nötigen Kräfte direkt auf die entsprechenden Teile übertragen werden können.

Somit arbeitet DASH an einer multidimensionalen Aufgabe, die das Erlernen der Methoden der Biomechanik, Materialwis-

senschaft, Mechatronik und klinischer Praxis erfordert. So soll eine Technologie entstehen, die nicht nur beim Cybathlon glänzt, sondern irgendwann im Leben einen echten Unterschied macht. ●

DIE AUTORINNEN UND AUTOREN

Benedikt Paul, aktuell Masterstudent der Medizintechnik und Assistenzsysteme an der TUM, ist bei DASH primär für organisatorische und finanzielle Angelegenheiten zuständig. Sein Hintergrund liegt im klassischen Maschinenbau. Zusätzlich bringt er Erfahrungen aus seiner Tätigkeit als Werkstudent in Forschung und Entwicklung klinischer Instrumente sowie als wissenschaftliche Hilfskraft am Klinikum der Universität München mit.

Chih-Yu Chen ist Doktorandin am Lehrstuhl für *Carbon Composites* der TUM. Ihre Forschung konzentriert sich auf die Prozessentwicklung additiver Endlosfaserfertigungsverfahren für medizinische Geräte wie Prothesen, Orthesen und Exoskelette. Derzeit arbeitet sie mit dem Biomechatronics Lab am *Imperial College London* zusammen, um ein patientenspezifisches Exoskelett für die unteren Gliedmaßen zu entwickeln, das auf die Physiologie und die klinischen Bedürfnisse von Patientinnen und Patienten zugeschnitten ist. Ziel ist es, ein natürliches und komfortables Erlebnis zu schaffen.

Turbulenzproduktion stromab einer hochbelasteten Niederdruckturbinenkaskade unter Einfluss der Profilbelastung und des Seitenwandgrenzschichtzustandes

Anmerkung der Redaktion: Mit unserem technischen Artikel bieten wir in jeder Ausgabe Platz für ein wissenschaftliches Exposé. Dabei ist die anfängliche Zusammenfassung technisch allgemein verständlich gehalten und liefert einen Überblick über die wissenschaftliche Arbeit.

Zusammenfassung

Turbulenzproduktion innerhalb von Flugantrieben ist eine signifikante Verlustquelle bei Flugzeugen. Sie reduziert deren Effizienz, was mit erhöhtem Kraftstoffverbrauch einhergeht. Die hier durchgeführte experimentelle Analyse der *Turbulenz-(Tu)-Produktion* in einem anwendungsnahen Versuch liefert tiefen Einblicke in die Energieumwandlungsprozesse innerhalb einer *Niederdruckturbinen-(NDT)-Kaskade* und schafft eine Grundlage zur weiteren Optimierung numerischer Simulationsmodelle. Diese sind die Basis für die Auslegung moderner Flugantriebe.

Im Zentrum steht die Untersuchung der Interaktion zwischen den großen Sekundärwirbelstrukturen innerhalb des Strömungskanals einer NDT-Kaskade in einem für reale Turbomaschinen realistischen Mach- und Reynolds-Zahl-Bereich. Die hier gezeigten Ergebnisse belegen, dass ein Großteil der Turbulenz nicht innerhalb der Wirbel, sondern in ihrem gemeinsamen Interaktionsbereich gebildet wird.

Die angestellte **Mach-Zahl-Analyse** legt nahe, dass die Mach-Zahl einen großen Einfluss auf die richtungsabhängigen Tu-Produktionsprozesse hat und die dadurch hervorgerufenen Verluste bei höheren Mach-Zahlen zunehmen. Infolge der Erhöhung der Reynolds-Zahl, als Maß für die Flughöhe, sinkt der Einfluss viskoser Kräfte auf das Strömungsfeld. Dies führt zu einer generellen Verlustreduktion, obwohl die Turbulenzproduktionsprozesse durch stärkere Wirbelstrukturen angefacht werden.

Problemstellung und Zielsetzung

Die Steigerung der Gesamteffizienz eines Flugtriebwerks lässt sich u. a. durch Erhöhung des sogenannten Vortriebswirkungsgrads erreichen. Die in den letzten Dekaden forcierte Erhöhung des Nebenstromverhältnisses der in der kommerziellen Luftfahrt gebräuchlichen Zweistrom-Turboluftstrahltriebwerke hat maßgeblich zu dieser Erhöhung beigetragen. Die Markteinführung sogenannter Getriebefans im Jahr 2016 verlieh dieser Entwicklung weiteren Auftrieb [8]. Maßgeblicher Vorteil des Getriebes ist, dass durch den Einsatz eines Untersteigungsgesetzes sowohl der Fan als auch die Niederdruckturbine in ihren jeweils optimalen Drehzahlen betrieben werden können [4]. Die gesteigerte Drehzahl der NDT erlaubt eine signifikante Steigerung des Stufendruckverhältnisses bei gleichzeitiger Reduktion der Schaufel-

zahl innerhalb einer NDT-Stufe, was eine deutliche Gewichtsreduktion dieser Komponente zur Folge hat. Ein gesteigertes Stufendruckverhältnis bei gleichzeitiger Reduktion der Schaufelzahl geht meist mit der Steigerung der aerodynamischen Schaufelbelastung einher. Hochbelastete Schaufelprofile neigen zur Anfachung so genannter Sekundärströmungseffekte innerhalb des Schaufelkanals, was unweigerlich zu Verlusten und damit Effizienzeinbußen innerhalb der NDT führt [9].

Um die durch die angefachten Sekundärströmungseffekte entstandenen Verlustzuwächse zu kompensieren, haben sich geometrische Anpassungen des Schaufelkanals unter Zuhilfenahme numerischer Simulationsmethoden als zielführend erwiesen. Dabei stellen Verfahren auf Basis der *Reynolds-gemittelten Navier-Stokes-(RANS)-Gleichungen* unter Einsatz sogenannter Zweigleichungsmodelle zur Turbulenzmodellierung und zusätzlicher Modelle zur Transitionsvorhersage den aktuellen Standard dar [1]. Obwohl damit heutzutage auch komplexe Strömungsfelder, wie das innerhalb einer Turbomaschine, numerisch abgebildet werden können, kommt es besonders im Bereich der Sekundärströmungen häufig zu unzufriedenstellenden Abweichungen im Vergleich zum Experiment [3]. Daraus wiederum erwächst die Notwendigkeit zur Entwicklung noch fortgeschrittenerer Turbulenzmodelle [5]. Zu deren Entwicklung und Verifikation werden wiederum Erkenntnisse über die Entwicklung turbulenter Strömungsgrößen und ihrer Interaktion mit den Größen des mittleren Strömungsfelds benötigt, die ihren Ursprung in hochwertigen Experimenten haben.

Die Mehrzahl der experimentellen Untersuchungen zur Entwicklung turbulenter Strömungsgrößen im Abströmfeld einer Turbinenkaskade ist auf subsonische Strömungen beschränkt. Darüber hinaus besteht in den meisten Fällen keine Möglichkeit der getrennten Mach- und Reynolds-Zahl-Variation, sodass derartige Einflüsse auf die Entwicklung der turbulenten Strömungsgrößen bis dato nicht untersucht werden konnten. Damit kann auch

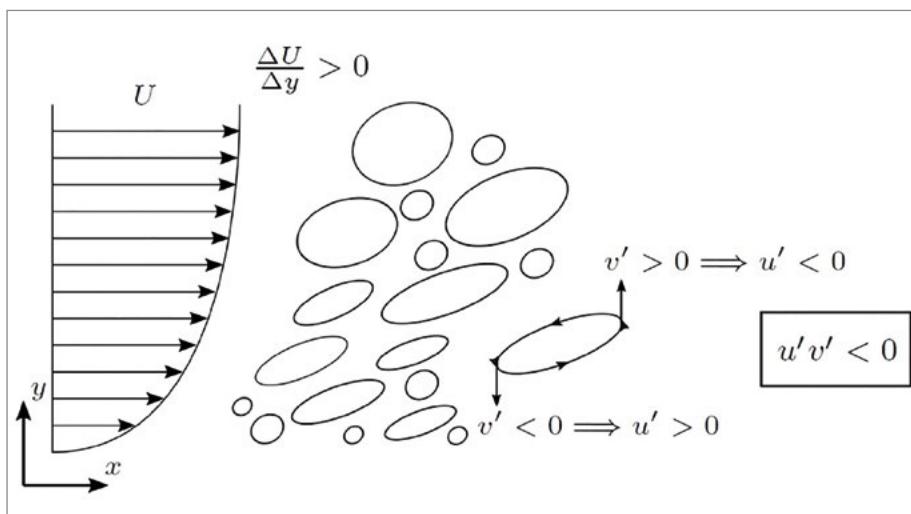


Abbildung 1: Turbulenzstruktur in einer gradientenbehafteten Strömung nach Leschziner et al. [7]

die Übertragbarkeit der im Subsonischen gewonnenen Erkenntnisse auf kompressible Strömungen variabler Mach- und Reynolds-Zahl nach aktuellem Stand nicht beurteilt werden.

Um einen Teil dieser Wissenslücken zu schließen, sollen zum einen Erkenntnisse über die Entwicklung der turbulenten Strömungsgrößen im Abströmfeld einer **kompressibel durchströmten NDT-Kaskade** gesammelt werden und zum anderen die Interaktion dieser Größen mit den Strömungsgrößen des mittleren Strömungsfelds untersucht werden. Die dafür erforderlichen experimentellen Strömungsuntersuchungen wurden am **Hochgeschwindigkeits-Gitterwindkanal (HGK)** des Instituts für Strahlantriebe an der Universität der Bundeswehr München durchgeführt. Durch seine besondere Bauweise ermöglicht der HGK experimentelle Untersuchungen unter für reale Turbomaschinen relevanten Betriebsbedingungen, was eine Übertragung der Ergebnisse auf den späteren Anwendungsfall erheblich vereinfacht.

Turbulenzproduktion

Für die Produktion von Turbulenz – konkreter, turbulenten kinetischer Energie (TKE) – ist zunächst eine äußere Krafteinwirkung, meist in Form einer **Spannungs-Dehnungs-Interaktion**, erforderlich [6]. Das Schema zur Produktion von TKE ist in **Abbildung 1** vereinfacht für eine inkompressible, zweidimensionale, ebene Plattengrenzschicht dargestellt. Die Abbildung zeigt die in Folge des mittleren Strömungsgradienten $\Delta U/\Delta y$ verformten großen Wirbelstrukturen. Kleinere Wirbelstrukturen bleiben weitgehend von der Scherung unbeeinflusst, da die Stärke des Geschwindigkeitsgradienten im Allgemeinen zu schwach ist, um eine nennenswerte Scherwirkung bei diesen Wirbelstrukturen zu erzielen. Mit zunehmender Stärke des zeitlich gemittelten Geschwindigkeitsgradienten sinkt folglich auch die minimale Größe der von der Scherung betroffenen Wirbelstrukturen. Nach **Abbildung 1** führt eine infolge eines großen energietragenden Wirbels herbeigeführte Geschwindigkeitsfluktuation $v' < 0$ zu einem Transport von impulsreichem Fluid in Richtung Wand. Das dortige Geschwindigkeitsfeld erfährt infolgedessen, gemessen am zeitlichen Mittelwert U , eine Geschwindigkeitserhöhung $u' > 0$ in Hauptströmungsrichtung. Dem zeitlich gemittelten Strömungsfeld wurde

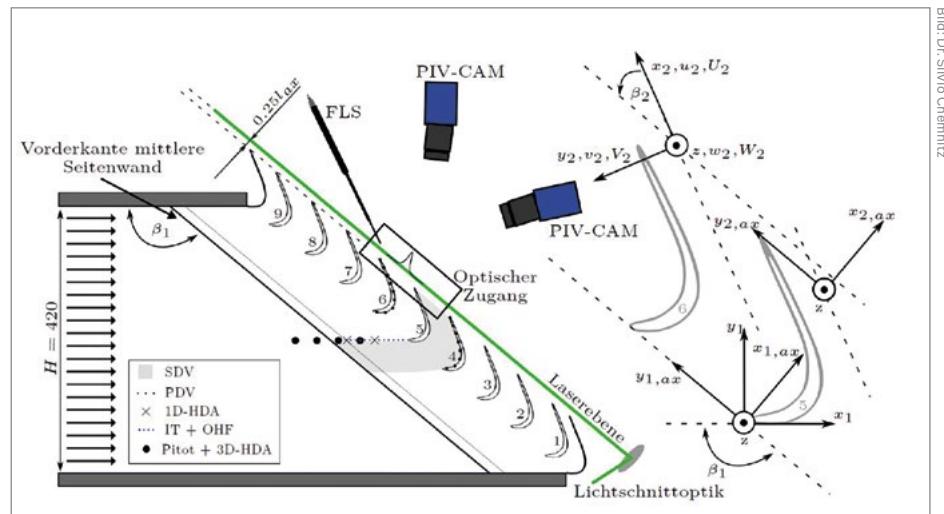


Abbildung 2: Skizze des experimentellen Aufbaus mit angedeuteten Positionen der eingesetzten Messtechniken und für die Datenanalyse verwendeten Koordinatensysteme. Profilgeometrie verzerrt

nach dieser stark vereinfachten Betrachtung also mittlere kinetische Energie entnommen und an einer anderen Stelle im System (nahe der Wand) in Form einer turbulenten Schwankungsgeschwindigkeit u' wieder hinzugefügt. Umgekehrt verhält es sich für eine Fluktuation $v' > 0$, die zu einer negativen Schwankungsbewegung u' innerhalb der betrachteten Grenzschicht führt. In beiden Fällen ist das Produkt der Schwankungsgeschwindigkeiten $u'v'$, bedingt durch das positive Vorzeichen des vorherrschenden Geschwindigkeitsgradienten $\Delta U/\Delta y$, negativ.

Experimentelles Setup

Bei dem hier verwendeten Versuchsträger handelt es sich um eine Linearkaskade eines **hochbelasteten NDT-Profiles**, das von der **MTU Aero Engines AG** ausgelegt und an der Universität der Bundeswehr München gefertigt wurde. Das Schaufelgitter wird im hier vorliegenden Fall im starken Offdesign mit dem Ziel betrieben, die Sekundärströmungsphänomene und die daran beteiligten physikalischen Prozesse anzufachen. Durch dieses Vorgehen werden schließlich die Unterschiede der in diesem Rahmen durchgeföhrten Parameterstudie verstärkt, was sich positiv auf die Belastbarkeit der erhobenen Ergebnisse auswirkt. Da es unter anderem das Ziel dieser Arbeit ist, die Auswirkungen des Eintrittszustands der Zuströmgrenzschicht an der Seitenwand auf die Entwicklung der stationären und turbulenten Strömungsgrößen in der Abströmung zu untersuchen, wurde die bereits vorhandene Turbinenkaskade derart modifiziert, dass der Grenzschichtzustand an einer

der beiden Seitenwände durch eine gezielte Reynolds-Zahl-Variation beeinflusst werden kann. Zu diesem Zweck wurde nahe des ursprünglichen Schaufelmittenschnitts eine weitere Seitenwand eingezogen, an deren Vorderkante sich eine von der Windkanalgrenzschicht unabhängige Seitenwandgrenzschicht aufbaut.

Der Fokus der Analyse liegt auf der Entwicklung der stationären und turbulenten Strömungsgrößen in der Abströmung der Turbinenkaskade unter Einfluss einer sich ändernden Profilbelastung (Mach-Zahl) und eines veränderlichen Grenzschichtzustands (Reynolds-Zahl) an der Seitenwand. Damit dabei die beteiligten physikalischen Effekte voneinander getrennt werden können, muss der Untersuchung der Abströmung eine intensive Charakterisierung der Zuströmung sowie der verfügbaren Größen aus dem Inneren der Schaufelpassage vorweggehen. Weiterhin erfordert die Untersuchung des Einflusses der Profilbelastung und des Grenzschichtzustands an der Seitenwand auf die Entwicklung der Abströmgrößen eine umfassende Parametervariation des Betriebspunkts: So wurden alle nachfolgend aufgeführten Untersuchungen für zwei isentrope Abström-Mach-Zahlen: $Ma_{2,th} = 0,60$ und $0,86$ sowie drei Reynolds-Zahlen: $Re_{2,th} = 84\text{ k}, 186\text{ k}$ und 400 k durchgeführt.

Abbildung 2 zeigt eine schematische Darstellung der Messstrecke und der Turbinenkaskade sowie der in dieser Arbeit verwendeten Koordinatensysteme. Darüber hinaus ist schematisch die Lage der Messpositionen der eingesetzten quantitativen Messtechniken angedeutet. Obwohl die zusätzliche mittlere Seitenwand

aufgrund des erwarteten Grenzschichtumschlags messtechnisch im Fokus stand, wurden die Analysen, soweit möglich, auf beide Seitenwände und die dazugehörigen Sekundärströmungsgebiete ausgedehnt.

Zur Charakterisierung der Zuströmung kamen stromauf der Gittereintrittsebene eine Pitotsonde sowie eine 3D-Hitzdrahtsonde (3D-HDA) zum Einsatz. Für die Analyse der Seitenwandgrenzschichtzustände wurden 1D-HDA, Infrarotthermografie (IT) und Oberflächenheißfilmanemometrie (OHF) eingesetzt. Ergänzt wurden diese Verfahren durch flächige Druckmessungen an der mittleren Seitenwand (SDV) und auf dem Schaufelprofil (PDV). Der Fokus der Untersuchungen lag auf der Charakterisierung der Abströmung, für die vorrangig eine Fünflochsonde (FLS) zur flächigen Druckmessung und ein 2D3C-Stereo-PIV-(Particle Image Velocimetry)-Aufbau zum Einsatz kamen.

Datenanalyse

Die Entwicklung des **Totaldruckverlustbeiwerts** ζ_2 , ist in Abbildung 3 für die Abströmebenen 10 %, 25 % und 40 % axialer Sehnenlänge stromab der Gitteraustrittsebene dargestellt. Zu sehen ist das Ergebnis der spannweiten FLS-Messungen über die gesamte Gitterteilung y/t und Schaufelhöhe z/h . Gemäß Abbildung 2 befindet sich die in Hauptströmungsrichtung projizierte Schaufelhinterkante in allen Messebenen bei $y/t = 0,5$. Die Traversierung erfolgte ausgehend von der saugseitigen Passagierhälfte $y/t = 0$. Die mittlere Seitenwand liegt bei $z/h = 0$ und die Windkanalseitenwand bei $z/h = 1$. Da sich dieser Artikel ausschließlich auf die hier maßgeblichen Effekte und Beobachtungen fokussiert, wird in Abbildung 3 und allen weiter-

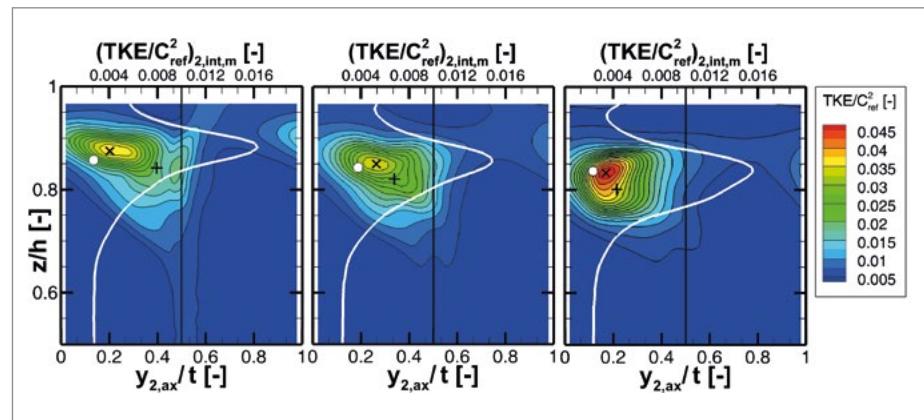


Abbildung 4: Flächige und umfangsgemittelte Entwicklung der turbulenten kinetischen Energie in den Abströmebenen 10 %, 25 % und 40 % lax (v. l. n. r.) für $Ma_{2,th} = 0,60$ und $Re_{2,th} = 186$ k

ren nur eine Hälfte des Strömungsfelds gezeigt und diskutiert. Eine vollständige Diskussion findet sich in der zugrundeliegenden Dissertation [2].

Im Feld markiert sind mehrere Orientierungshilfen, wie das Wirbelzentrum des Kanalwirbels (\circ), der Punkt der maximalen sekundären kinetischen Energie (SKE) (+) und der TKE (\times). Neben der flächigen Verteilung ist in Abbildung 3 der über den Umfang ($0 \leq y/t \leq 1$) gemittelte Totaldruckverlustbeiwert $\zeta_{2,int,m}$ als weiße Linie dargestellt.

In allen Messebenen zeigen sich der lokale Anstieg des Totaldruckverlustbeiwerts infolge der Ausprägung des Profilnachlaufs um $y/t = 0,5$ sowie der deutliche Anstieg des Verlustbeiwerts im Sekundärströmungsgebiet. Innerhalb dessen lassen sich je drei markante Sekundärwirbelphänomene identifizieren: der Hinterkantewirbel (H), der Kanalwirbel (K) und der Eckenwirbel (E). Auffällig ist, dass die lokal höchsten Totaldruckverluste in der 10 %- l_{ax} -Ebene im Bereich der Hinterkantewirbel gemessen werden, die jedoch im

Gegensatz zu den Totaldruckverlustbeiwerten im Kanalwirbel mit zunehmendem Axialabstand zur Hinterkante schnell abnehmen. In allen weiteren Messebenen dominiert der Kanalwirbel das Verlustgeschehen. Neben der turbulenten bedingten Ausmischung der Verlustgebiete stromab (steigende l_{ax}), kann im Interaktionsbereich zwischen Kanal- und Hinterkantewirbel sowohl lokal als auch gemittelt über eine Teilung eine signifikante Totaldruckverlustzunahme beobachtet werden. Obwohl hier nicht gezeigt, geht dieser Verlustzuwachs stromab mit einer stetigen Abnahme der SKE einher.

Da TKE technisch nicht nutzbar ist, stellt diese eine weitere entscheidende Größe bei der Beurteilung der Totaldruckverlustentwicklung stromab der untersuchten NDT-Kaskade dar. Die Analyse der in Abbildung 4 dargestellten TKE zeigt, dass ein Großteil des in der Strömung vorhandenen TKE-Budgets im Bereich des Kanalwirbels zu finden ist. Nur in unmittelbarer Nähe zur Gitteraustrittsebene äußert sich der Einfluss des turbulenten Wirbelabwurfs an der Profilhinterkante in lokal leicht erhöhten TKE-Werten. Mit zunehmendem Axialabstand klingt die TKE in den Bereichen außerhalb der Kanalwirbel allmählich ab. Im Bereich des Kanalwirbels wiederum nimmt die TKE stromab deutlich zu.

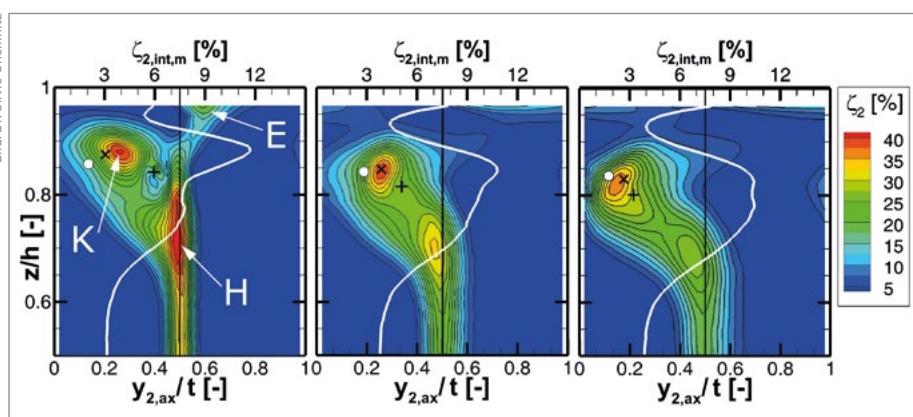


Abbildung 3: Flächige und umfangsgemittelte Entwicklung des Totaldruckverlustbeiwerts ζ_2 in den Abströmebenen 10 %, 25 % und 40 % l_{ax} (v. l. n. r.) für $Ma_{2,th} = 0,60$ und $Re_{2,th} = 186$ k

In Abbildung 5 ist die lokale Verteilung des aufsummierten Turbulenzproduktionsterms gegenüber der **Totaldruckverlustverteilung** dargestellt. Negative Produktionsraten entsprechen einer Produktion von TKE zulasten der mittleren kinetischen Energie und umgekehrt. Ein Großteil der Umwandlung zwischen mittlerer und **turbulenter kinetischer Energie** findet in den Sekundärströmungsbereichen statt. Die

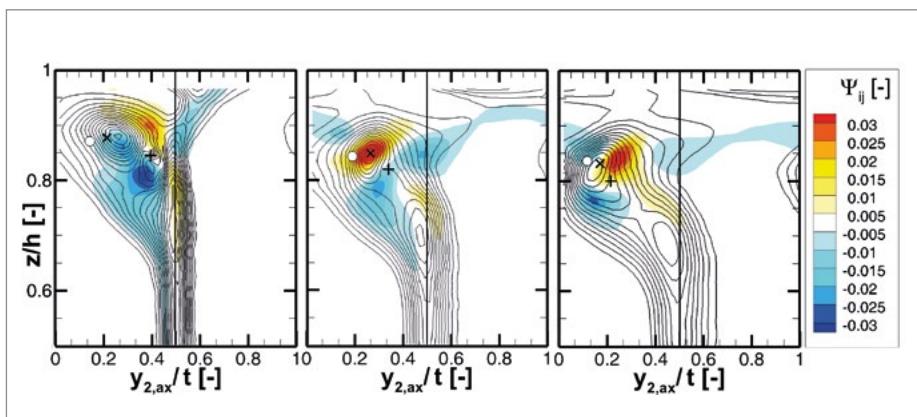


Abbildung 5: Korrelation zwischen TKE-Produktionsterm und Totaldruckverlustbeiwert ζ_2 (Konturlevel vgl. Abbildung 3) in den Abströmebenen 10 %, 25 % und 40 % l_{ax} (v. l n. r.) für $Ma_{2,th} = 0,60$ und $Re_{2,th} = 186\text{k}$

betragsmäßig höchsten negativen Produktionsraten treten in der 10 %- l_{ax} -Ebene im Interaktionsbereich zwischen Kanal- und Hinterkantenwirbel auf, wo verlustbehaftetes Fluid mit der freien Kernströmung der Passagenmitte interagiert. Stromab kommt es zu einer durch den Kanalwirbel angetriebenen Wanderung der saugseitigen **TKE-Produktionszone**, was zu einer lokalen Zunahme der TKE in dem der Passage zugewandten Teil des Sekundärströmungsgebiets führt (vgl. Abbildung 4). In der Folge nimmt die spannweite Ausbreitung der von hohen TKE-Werten betroffenen Bereiche mit steigendem Axialabstand zu, was sich auch an einer deutlichen Zunahme der umfangsgemittelten TKE-Werte (weiße Linie) zeigt.

Ein direkter Vergleich des TKE-Produktionsterms in Abbildung 5 mit den Konturen des Totaldruckverlustbeiwerts zeigt einen deutlichen, infolge hoher TKE-Produktionsraten herbeigeführten Verlustanstieg zwischen der 10 %- und der 25 %- l_{ax} -Ebene, besonders im Interaktionsbereich von Kanal- und Hinterkantenwirbel. Dass dies nicht die alleinige Folge aus Konvektions- und Diffusionsprozessen ist, lässt sich unter anderem anhand des Integralwerts nachweisen, der im beschriebenen Bereich, wie bereits erwähnt, stark anwächst (vgl. Abbildung 3). Die deutliche Korrelation aus negativen Produktionsraten und Verlustanstieg setzt sich bis in die 40 %- l_{ax} -Ebene fort. Anzumerken ist an dieser Stelle, dass diese Korrelation nicht innerhalb ein- und derselben Messebene bestehen kann und darf, da es sich bei dem TKE-Produktionsterm im thermodynamischen Sinne um eine Prozessgröße handelt, die damit die zeitliche Änderung der TKE beschreibt. Die Analyse von TKE-Produktion und Totaldruckverlustzuwachs kann in einem

Setup wie diesem folglich nur auf Basis mehrerer Messebenen erfolgen.

Fazit

Die angestrengte Datenanalyse hat gezeigt, dass im Sekundärströmungsgebiet einer hochbelasteten NDT-Kaskade ein Teil des gemessenen Verlustzuwachses die direkte Folge von TKE-Produktionsprozessen ist. Demnach wird vor allem im Interaktionsbereich der beiden größten Sekundärwirbel turbulente kinetische Energie zulisten mittlerer sekundärer kinetischer Energie produziert, was durch negative Turbulenzproduktionsraten nachgewiesen werden konnte. Diese Beobachtung stellt den Mechanismus der Turbulenzproduktion in den Fokus weiterer Optimierungsvorhaben zur Effizienzsteigerung gängiger Luftfahrtantriebe. ●

DER AUTOR

Dr. Silvio Chemnitz studierte Luft- und Raumfahrttechnik an der *Technischen Universität Berlin*. Als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Strahltriebwerke der Universität der Bundeswehr fokussierte er sich auf Messtechnikentwicklung und Turbulenzmessung. Die daraus resultierende Dissertation „Turbulenzproduktion stromab einer hochbelasteten Niederdruckturbinenkaskade unter Einfluss der Profilbelastung und des Seitenwandgrenzschichtzustandes“, betreut durch **Prof. Dr. Reinhard Niehuis**, wurde mit dem *Claudius-Dornier-jr.-Dissertationspreis* ausgezeichnet. Aktuell arbeitet er als Systemingenieur im Bereich Flying Fuel Cell bei der *MTU Aero Engines AG*.

Literaturverzeichnis:

- [1] Bode, C. „Verbesserte Wiedergabe der Turbulenz in Turbinenströmungen und deren Einfluss auf das dreidimensionale Grenzschichtverhalten.“ Dissertation. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig, Juni 2018.
- [2] Chemnitz, S. „Turbulenzproduktion stromab einer hochbelasteten Niederdruckturbinenkaskade unter Einfluss der Profilbelastung und des Seitenwandgrenzschichtzustandes.“ Dissertation. München: Universität der Bundeswehr München, April 2022.
- [3] Denton, J. D. „Some Limitations of Turbomachinery CFD.“ In: „Proceedings of ASME Turbo Expo 2010: Power for Land, Sea, and Air.“ GT2010-22540. Glasgow, UK, June 14-18, 2010, S. 735–745.
- [4] Gmelin, T. C., Hüttig, G. und Lehmann, O. „Zusammenfassende Darstellung der Effizienzpotenziale bei Flugzeugen unter besonderer Berücksichtigung der aktuellen Triebwerkstechnik sowie der absehbaren mittelfristigen Entwicklungen.“ Hrsg. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin, 2008.
- [5] Langston, L. S. „Secondary Flows in Axial Turbines – A Review.“ In: *Annals of the New York Academy of Sciences*. 934.1 (2001), S. 11–26.
- [6] Leschziner, M. „Statistical Turbulence Modelling for Fluid Dynamics – Demystified: An Introductory Text for Graduate Engineering Students.“ London: Imperial College Press, 2016.
- [7] Leschziner, M., Fishpool, G. M. und Lardeau, S. „Turbulent Shear Flow: A Paradigmatic Multiscale Phenomenon.“ In: *J. Multiscale Modelling*. 01.02 (2009), S. 197–222.
- [8] MTU. „Pratt & Whitney GTF™ Engines.“ Hrsg. von MTU Aero Engines AG. 2019. URL: https://www.mtu.de/fileadmin/EN/7_News_Media/2_Media/Brochures/Engines/PW1000G.pdf (zuletzt abgerufen am 16.06.2021).
- [9] Praisner, T. J., Allen-Bradley, E., Grover, E. A., Knezevici, D. C. und Sjolander, S. A. „Application of Non-Axisymmetric Endwall Contouring to Conventional and High-Lift Turbine Airfoils.“ In: *Proceedings of ASME Turbo Expo 2007: Power for Land, Sea, and Air*. GT2007-27579. Montreal, Canada, May 14–17, 2007, S. 653–661.

Termine 2024 (Januar bis Oktober)

10.1.2024	Neujahrsempfang und Jahresmitgliederversammlung der DGLR-Bezirksgruppe Leipzig	Erfurt
11.1.2024	Vortrag: Elektrische Antriebssysteme für zukünftige Luftfahrzeuge Referent: Prof. Dr. Lars Enghardt, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)	Dresden
17.1.2024	Vortrag: Wer braucht einen Drohnenführerschein? Ein- und Überblick für Hobbyflieger bis hin zu gewerblichen Anwendern	Online – Bezirksgruppe Leipzig
18.1.2024	Vortrag: Forum Munich Aerospace – Opportunities and Challenges of Artificial Intelligence in Space Referentin: Maren Hülsmann, Universität der Bundeswehr, Institute of Space Technology & Space Applications	Ottobrunn
26.1.2024	Mitgliederversammlung 2023 der DGLR-Bezirksgruppe Braunschweig Die Mitgliederversammlung findet im Onlineformat statt	Online – Bezirksgruppe Braunschweig
29.1.2024	Vortrag: Energieeffizienz – Zwingende Voraussetzung für die Nachhaltigkeit zukünftiger Verkehrsflugzeuge Referent: Prof. Dr.-Ing. habil. Cord-Christian Rossow, ehemaliger Direktor des DLR-Instituts für Aerodynamik und Strömungstechnik, Braunschweig	Online – Bezirksgruppe Braunschweig
1.2.2024	Vortrag: Forum Munich Aerospace – Verbesserungspotenzial für sicherheitsrelevante GNSS-Anwendungen durch neue GALILEO-Dienste Referent: Dr. Stefan Baumann, Programme Manager for Satellite Navigation, IABG	Ottobrunn
26.2.2024	Vortrag: Was fliegt da über mir? – Die gesellschaftliche Akzeptanz von Drohnen Referentinnen: Franziska Dunkel und Maria Stolz, Institut für Flugführung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Braunschweig	Online – Bezirksgruppe Braunschweig
6.–8.3.2024	DGLR-Weiterbildung: Grundkurs Satellitentechnik Leitung: Prof. Dr.-Ing. Klaus Brieß, Fachgebietsleiter Raumfahrttechnik a. D., Technische Universität Berlin	Berlin
25.3.2024	Vortrag: Zukünftige Flugoperationen mit reduzierter Besatzung – Chancen und Herausforderungen Referentin: Michelle Dieter, Boeing Global Services, Neu Isenburg	Online – Bezirksgruppe Braunschweig
29.4.2024	Vortrag: Digitaler Zwilling des Forschungstriebwerks der TU Braunschweig Referenten: Dr. Jan Göing, Leiter der Forschungsgruppe Systemdynamik und Modellierung; Sebastian Lück M. Sc., wissenschaftlicher Mitarbeiter, Institut für Flugantriebe und Strömungsmaschinen (IFAS), TU Braunschweig	Online – Bezirksgruppe Braunschweig
30.9.–2.10.2024	Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress (DLRK) 2024 Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR)	Hamburg

Weitere Veranstaltungen und aktuelle Informationen finden Sie im Veranstaltungskalender unter dglr.de.

Informationen, Austausch und eine Ehrung bei der DGLR-Jahrestagung 2023



Zum Jahresempfang in der Landesvertretung Hessen waren Mitglieder und Gäste geladen



Die DGLR-Nachwuchsgruppe DASH präsentierte ihr Forschungsprojekt



Dr. Thomas Reiter probierte das Flying Lab der Firma AlphaLink aus

Zum Abschluss des Jahres 2023 hat die Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR) am 23. November ihre Mitglieder und einige Gäste zur Jahrestagung nach Berlin eingeladen. In der Vertretung des Landes Hessen erhielten die Mitglieder bei der ordentlichen Mitgliederversammlung einen Überblick über das Geschäftsjahr und die Veranstaltungen der DGLR. Beim anschließenden Jahresempfang bot sich den Teilnehmenden ein kurzes Programm aus Vorträgen, einer Ehrung und der Möglichkeit, sich bei Essen und Getränken auszutauschen.

In der Mitgliederversammlung wurde über die DGLR-Highlights 2023 berichtet. Dazu zählte natürlich auch der Deutsche Luft- und Raumfahrtkongress 2023 in Stuttgart, der im zweiten Jahr in Folge eine Rekordbeteiligung aufwies. Im *Haus der Wirtschaft* kamen rund 1.000 an der Luft- und Raumfahrt Interessierte zusammen, um aktuelle Technologien und Entwicklungen zu präsentieren und zu diskutieren. Im Anschluss gab Generalsekretär Philip Nickenig gemeinsam mit dem DGLR-Präsidenten Roland Gerhards einen Überblick über die zahlreichen Aktivitäten der Gesellschaft. So ging es zum Beispiel um die Ergebnisse der Senatswahl 2023 und den Aufbau einer *Virtual International Group*, die die Bezirksgruppenstruktur der DGLR erweitern soll. Die anwesenden Mitglieder erhielten zudem eine Übersicht über die Ausgaben des Vorjahrs und konnten den Finanzplan

für 2024 einsehen. Auch wurden alle Anwesenden noch einmal dazu aufgefordert, zur weiteren Mitgliedergewinnung beizutragen und so aktiv die Arbeit und Vorteile des DGLR-Netzwerks zu unterstützen.

Am Abend begrüßte DGLR-Präsident Roland Gerhards ab 18 Uhr die Mitglieder und Gäste zum **Jahresempfang**. Von Seiten der Politik hieß Lucia Puttrich, Bevollmächtigte des Landes Hessen beim Bund, die Anwesenden willkommen. Es folgte die Verleihung der **DGLR-Ehrenmitgliedschaft** an Dr. Thomas Reiter. Thomas Reiter sei das Idealbild eines Ehrenmitglieds, sagte DGLR-Präsident Roland Gerhards, der die Ehrung überreichte. Reiter hat sich sowohl für die DGLR als technisch-wissenschaftliche Vereinigung als auch für die gesamte Gesellschaft – insbesondere im Bereich der Raumfahrt – engagiert. Durch seine verschiedenen Funktionen sowie Erfahrungen und Kenntnisse hat er die europäische Raumfahrtforschung nachhaltig mitgeprägt. Durch seine menschliche Art habe er auch persönlich viel zur positiven Entwicklung der DGLR beigetragen. Die Laudatio hielt Acatech-Präsident und ehemaliger Generaldirektor der *Europäischen Weltraumorganisation ESA*, Prof. Dr. Johann-Dietrich Wörner.

Der diesjährige **Vortrag** wurde vom Gewinnerteam des ersten DGLR-Nachwuchsgruppenwettbewerbs gestaltet und rundete das Abendprogramm ab. Der *DASH Exoskeleton Student Club* fiel beim Wettbewerb besonders durch die Neuartigkeit seiner Idee auf und konnte sich damit oben auf dem Siegertreppchen positionieren. Die neue DGLR-Nachwuchsgruppe wurde 2021 an der TUM gegründet und arbeitet seitdem an der Entwicklung tragbarer Roboter, die die menschliche Gliedmaßen-

und Muskelleistung verbessern, verstärken oder wiederherstellen sollen. Diese können in der Medizin zur Rehabilitation, in der Industrie zur Effizienzsteigerung und eben auch in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt werden. Zum Beispiel können sie im Flugzeugbau beim Transport schwerer Teile zum Einsatz kommen, wie bei der Montage oder Inspektion. Außerhalb der Erde könnten Exoskelette von Astronautinnen und Astronauten auf langen Weltraummissionen getragen werden. Kurzfristig plant DASH den Bau eines Exoskeletts für die unteren Gliedmaßen für vollständig querschnittsgelähmte Personen, um ihnen zu helfen, ihre Mobilität wiederzuerlangen. Darüber hinaus möchten die Studierenden 2024 am **CYBATHLON-Wettbewerb** teilnehmen, bei dem Menschen mit körperlichen Behinderungen mit technischen Hilfsmitteln wie motorisierten Prothesen, Rollstühlen oder eben auch Exoskeletten gegeneinander antreten.

Das anschließende gemeinsame **Abendessen** nutzten die Teilnehmenden, um sich in gemütlicher Atmosphäre auszutauschen und zu vernetzen. Außerdem hatten sie die Gelegenheit, die kleine **Ausstellung** zu besuchen und sich über die Arbeit von *AlphaLink* sowie der Nachwuchsgruppen *DASH* und *Falcon Vision* ebenso wie über den *International Air Cadet Exchange (IACE)* genauer zu informieren. ●



Bei der Jahrestagung waren viele Mitglieder des Jungen Senats dabei, um ihre Arbeit vorzustellen

DIE AUTORIN

Alisa Griebler koordiniert die Kommunikationsaktivitäten der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR). Sie ist Pressesprecherin der DGLR und Chefredakteurin des Magazins „Luft- und Raumfahrt“.

Fremde Luftfahrtkulturen und Menschen kennenlernen – Der International Air Cadet Exchange

Bild: IACE



Teilnehmende aus dem Ausland beim Besuch des Reichstagsgebäudes in Berlin

Bild: IACE



Cadets aus Frankreich beim IACE-Austausch in Hamburg

Seit 1946 unterstützt der *International Air Cadet Exchange (IACE)* den Austausch von Luftfahrerinnen und Luftfahrern auf der Welt. Gegründet, um die Verständigung nach dem Zweiten Weltkrieg zu fördern, ermöglicht der IACE jungen, von der Luft- und Raumfahrt begeisterten Menschen Perspektiven und Einblicke in Programme und Aktivitäten dieser Branche in den verschiedensten Ländern. Die deutsche Beteiligung am Programm wird von der *Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR)* mit wesentlicher Unterstützung der Luftwaffe, der Luftsportjugend Deutschland, der Interessengemeinschaft Deutsche Luftwaffe e. V., dem *Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)* und der deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie organisiert.

Viele Alumni des Programms finden später den Weg in die Luft- und Raumfahrtbranche und teilen ihre Erfahrungen und Ratschläge mit neuen Teilnehmenden.

Luftfahrttausch in Belgien

Im Juni lernten Jennifer Rokohl, Franka Schulz, Lorenz Durstberger und Julia Rinne sich beim Vortreffen in Köln-Wahn kennen. Verbunden mit einer spannenden Führung durch die Flugbereitschaft des *Bundesministeriums für Verteidigung* erhielten sie so erste Einblicke in die Welt des IACE. Im Juli war es dann so weit: Vom 14. bis 27. Juli starteten die vier Cadets zum diesjährigen IACE. Mit dem Zug ging es zuerst nach Brüssel zur Royal Military

Academy, wo sie die erste Woche untergebracht waren. Nach einem kurzen Kennenlernen der anderen Cadets (aufgrund der militärischen Historie des Programms werden die Teilnehmenden als Kadetten und Kadetten bezeichnet) und einem unterhaltsamen Briefing gab es ein ausgiebiges Welcome-Dinner. Am Freitag, dem ersten richtigen Tag, ging es zum 15th Wing, einer Militäreinheit in der Nähe von Brüssel, die viele spannende und besondere Operationen mit Luftfahrzeugen durchführt.

Nachmittags standen ein Besuch in Waterloo und das erste Treffen mit den Gastfamilien an, wo die Cadets das Wochenende verbringen sollten. Geplant waren individuelle und spannende Aktivitäten. Franka Schulz beispielsweise schaute sich Antwerpen an und für Jennifer Rokohl ging es nach Namur, eine alte Zitadelle besuchen.

Die neue Woche sollte mit Segelfliegen starten, doch die (Segelflug-)Winde in Weelde war kaputt, sodass die Cadets als *Alternativprogramm* ihre Fähigkeiten im Paintball testeten und sich hinterher gemeinsam mit den belgischen Cadets zum BBQ trafen. Fliegen konnten die Cadets trotzdem noch – eine Woche später in Bertrix, wo jeder einmal per *F-Schlepp* in die Luft gezogen wurde.

Bild: IACE



Die Teilnehmenden des Jahrgangs 2023 beim traditionellen Vortreffen bei der Flugbereitschaft des Bundesministeriums der Verteidigung in Köln

Der Dienstag versprach ein besonderes Highlight zu werden, denn es stand der Mitflug im **Helikopter NH90** an. Einige hatten sogar das Glück, den 30-minütigen Flug vom Jumpseat oder an der offenen Tür sitzend, mit Füßen auf der Kufe, erleben zu dürfen.

Am **Mittwoch** standen die **Geschichte Belgiens** und die Rolle des kleinen Landes in beiden Weltkriegen im Mittelpunkt. Die Cadets besuchten Museen und Kriegerdenkmäler – auch der **Nationalfeiertag** am darauffolgenden Freitag, dem 21. Juli, war mit seiner Militärparade sehr eindrucksvoll.

Nach einem zweiten ereignisreichen Wochenende bei anderen Gastfamilien starteten die Cadets am **Montag** zum eindrucksvollen *Bastogne War Museum*. Untergebracht waren sie nun in *Florenne*, einer *F-16-Base*, wo sie bei Starts und Landungen der Jets zusehen sowie im Hangar die Maschinen aus nächster Nähe begutachten konnten.

Die **Kajak-Tour** am letzten Tag stellte ein weiteres Highlight dar. Drei Stunden ging es über mehr oder weniger anfängerfreundliche Stromschnellen flussabwärts. Ein besonderes Teambuilding-Event, bei dem alle viel Spaß hatten und jeder sich die typisch belgischen Pommes wahrlich verdiente. Zu guter Letzt gab es ein Farewell-Dinner, das in einem schicken Restaurant direkt am Flugplatz *Temploux* stattfand.

So verstrichen die zwei Wochen wie im Flug. Jennifer Rokohl, Franka Schulz, Lorenz Durstberger und Julia Rinne konnten bei dem Austauschprogramm nicht nur viele spannende Eindrücke im Bereich Luftfahrt sammeln und einiges über die belgische Geschichte lernen, sondern haben auch viele tolle Freundschaften mit



Fragerunde mit dem Bundestagsabgeordneten und Offizier Johannes Arlt



Cadets beim Austausch in Großbritannien vor dem EF-Typhoon-Display-Jet

Bild: IACE

anderen Cadets aus den verschiedenen Ländern geschlossen.

Austausch 2024

Der IACE 2024 wird im Zeitraum von **9. bis 23. Juli 2024** stattfinden. In dieser Zeit haben einige junge deutsche Erwachsene wieder die Chance, die Luftfahrt und die Kultur eines der Partnerländer, wie beispielsweise Belgien, Frankreich, Großbritannien oder Schweden kennenzulernen.

Das Programm stellt sich, je nach Gastland, völlig unterschiedlich aus einem Mix aus offiziellen Empfängen, Industrie- und Truppenbesuchen, kulturellen Highlights sowie fliegerischen Aktivitäten und Freizeit zusammen. Das vereinende Element für die Programme aller Partnerländer ist die allgegenwärtige Begeisterung für die Luft- und Raumfahrt. Die erfolgreichen Bewerberinnen und Bewerber erwarten ein unvergessliches Abenteuer unter Gleichgesinnten, an das sie sich noch lange zurückinnern werden! ●



Gruppenfoto der Teilnehmenden beim Austausch in Großbritannien

BEWERBUNG

Interessierte bewerben sich bis zum **21. Januar 2024** mit einer aussagekräftigen und überzeugenden PDF-Bewerbung mit Lebenslauf, Motivations schreiben, Passbild und entsprechenden Referenzen (Zeugnisse, Beurteilungen) in einem Dokument per Mail an bewerbung@iacegermany.de.

Für weitere Fragen besuchen Sie unsere Homepage www.iacegermany.de oder senden Sie uns eine Mail an info@iacegermany.de.

Für die **Teilnahme** inkl. Flug, Unterkunft, Vollverpflegung, Programm im Austauschland, Polohemd, Krawatte und einer Jahresmitgliedschaft in der DGLR ist ein **Eigenbeitrag** von 650 Euro zu leisten. In einigen Ländern wird zusätzlich ein dunkler Anzug benötigt.



<https://iacegermany.de/bewerben>

DIE AUTORIN

Im Juli 2023 hat **Julia Rokohl** zusammen mit den anderen Cadets am IACE teilgenommen, bei dem sie viele spannende Eindrücke sammeln konnte. Zukünftig strebt sie eine Karriere als Hubschrauberpilotin oder ein Wirtschaftsstudium im Bereich Luftfahrt an.

Zukunftsweisende Forschung und Wettbewerb im Himmel:

Rückblick auf die International Micro Air Vehicle Conference and Competition 2023 in Aachen

Bild: Institut für Flugsystemdynamik (FSD)



Teilnehmende der IMAV 2023 während des Konferenzdinners

Vom 11. bis zum 15. September 2023 versammelten sich Studierende sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus der ganzen Welt in Aachen, um an der *International Micro Air Vehicle Conference and Competition (IMAV)* teilzunehmen. Die international besetzte Veranstaltung legt den Fokus auf das automatisierte Fliegen und besteht aus zwei ganztägigen Flugwettbewerben im Innen- und Außenbereich sowie einer zweitägigen wissenschaftlichen Konferenz. Dabei wurden die neuesten Erkenntnisse aus Forschung und Entwicklung der unbemannten Luftfahrt ausgetauscht und, im Rahmen der Wettbewerbe, in der Anwendung präsentiert. Wie bereits

2015, war das Institut für Flugsystemdynamik der *RWTH Aachen University* unter der Leitung von **Prof. Dieter Moormann** Ausrichter der einwöchigen Veranstaltung, die dieses Jahr in Deutschland stattfand.

Von der Theorie zu Praxis

Die IMAV ermöglicht es Teilnehmenden aus aller Welt, ihre Lösungen für technische Herausforderungen beim Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugen zu präsentieren. Die angereisten Teams hatten am Montag, den 11. September, nach der Eröffnungsveranstaltung die Gelegenheit,

sich mit den lokalen Gegebenheiten an den Wettbewerbsorten am *Aldenhoven Testing Center* sowie einer Fußballhalle in Herzogenrath vertraut zu machen und ihre Flugsysteme vorzubereiten. Am Dienstag ging es zum **ersten Wettbewerb im Innenraum**. Hierbei galt es, mit unbemannten, automatisierten Kleinstfluggeräten Kegel aufzunehmen, diese durch eine Hindernisbahn zu transportieren und abschließend übereinander zu stapeln.

Die **Aufgabe**, Flugsysteme automatisch in Innenräumen zu fliegen und präzise zu navigieren, ist eine **technische Herausforderung**, die Ingenieurinnen und Ingenieure weltweit beschäftigt. Im Gegensatz zu Flügen im Freien, bei denen unbemannte Flugsysteme unter anderem auf satellitenbasierte Navigationslösungen wie GPS zurückgreifen können, stehen diese Systeme im Innenraum nicht zur Verfügung. Ferner spielt die **Umfelderkennung** eine wichtige Rolle, um in engen Umgebungen auf stationäre und bewegliche Hindernisse reagieren zu können. Beim Innenraumwettbewerb steht daher die Entwicklung von Algorithmen für die Erkennung von Hindernissen und Navigation im Fokus. Gepaart mit der bereits komplexen Aufgabe, ein unbemanntes Flugsystem in der Luft zu stabilisieren und zu automatisieren, stellte der Innenraumwettbewerb eine besondere Herausforderung dar, die in diesem Jahr am besten von einem Gewinnerteam aus Deutschland bewältigt wurde.

Bild: Institut für Flugsystemdynamik (FSD)



Flugsystem für den Innenraumwettbewerb mit angehängtem Kegel

Die Rettung aus der Luft

Im Freiluftwettbewerb am Mittwoch wurden die Missionsplanung und -flexibilität sowohl der Teams als auch der eingesetzten Flugsysteme auf die Probe gestellt. Bei diesem Wettbewerb galt es, eine vollständige **Such- und Rettungsmission** von vermissten Personen mittels unbemannter Flugsysteme zu unterstützen. Die Einbindung von unbemannten Flugsystemen in Such- und Rettungsmissionen mit dynamisch wechselnden Parametern und äußeren Einflussgrößen ist aus technischer und organisatorischer Sicht eine Herausforderung. In zeitkritischen Einsatzsituationen sind **Geschwindigkeit** und **Präzision** der Informationsbereitstellung entscheidend für den Erfolg. Dabei ist die Einsatzumgebung eine anspruchsvolle Rahmenbedingung, die sich jederzeit ändern kann. Es werden daher Flugsysteme benötigt, die in der Lage sind, flexibel auf neue Anweisungen zu reagieren, hohe Automatisierungsgrade aufweisen, gut vernetzt sind und im Idealfall auch eine hohe Reichweite aufweisen.

Vor diesem Hintergrund mussten für den Freiluftwettbewerb Aufgaben mit **unterschiedlichen Schwerpunkten** bewältigt werden. Diese reichten von der Geländeerkundung aus der Luft über das Anfliegen von zuvor unbekannten Wegpunkten bis hin zu der Unterstützung und Verfolgung eines herannahenden Rettungsfahrzeugs aus der Luft zu den zuvor lokalisierten Personen – und das alles unter großem Zeitdruck, um den Rahmenbedingungen von realen Rettungseinsätzen möglichst nahe zu kommen. Anhand eines **Bewer-**



Das Team MaVlab der TU Delft präsentiert ihre Flugsysteme am Aldenhoven Testing Center

tungsschemas, das den Erfüllungsgrad der Aufgaben, die Einsatzzeit sowie auch den Automatisierungsgrad der Flugsysteme und -abläufe berücksichtigte, ging der diesjährige **erste Platz** an ein Teilnehmer-team aus Frankreich.

den neueste wissenschaftliche Arbeiten rund um Sensorik, Navigation sowie Flugregelung und -führung präsentierte. Im Anschluss an die Vorträge und während der Pausen nutzten die Teilnehmenden die Gelegenheit zum persönlichen und fachlichen Austausch.

Über die Forschung an unbemannten Systemen

Im Anschluss an die spannenden Wettbewerbe folgten am Donnerstag und Freitag die **Konferenztag**. Hierbei wurden die neuesten Entwicklungen und Erkenntnisse aus dem Bereich der unbemannten Fliegerei vorgestellt und diskutiert. Neben Podiumsvorträgen von Vodafone Deutschland, der flyXdrive GmbH sowie von Clean Copter und vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV), die Einblicke in aktuelle und zukünftige Projekte mit unbemannten Flugsystemen boten, wur-

Mit der **Preisverleihung**, bei der die führenden Wettbewerbs teams und die beste Veröffentlichung prämiert wurden, sowie der Bekanntgabe des Austragungsortes der **IMAVER 2024** in Bristol (UK) wurde die einwöchige Veranstaltung abgerundet. Die IMAV 2023 war mit der Teilnahme von Studierenden sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus 15 verschiedenen Ländern ein großer Erfolg. Die Kombination aus wissenschaftlicher Konferenz und praktischen Flugwettbewerben mit einem internationalen Teilnehmerfeld verleiht der IMAV jedes Jahr eine besondere Atmosphäre. Die Hilfsbereitschaft der Teams untereinander und die Hingabe der einzelnen Teilnehmenden für die unbemannte Luftfahrt macht die IMAV jedes Jahr aufs Neue zu einer besonderen Veranstaltung. ●



Das für ihren hochautomatisierten Flug im Innenwettbewerb mit dem dritten Platz ausgezeichnete Team Black Bee Drones aus Brasilien

DER AUTOR

Daniel Schatten ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am *Institut für Flugsystemdynamik (FSD)* der RWTH Aachen University. Er leitet das IMAV-Studierenden-denteam am FSD und war leitender Organisator für die IMAV 2023 in Aachen. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in der Automatisierung von unbemannten hybriden Flugsystemen sowie deren Verhalten auf Aktuatorausfälle.

Das Raumfahrthistorische Kolloquium 2023

Rund 50 Teilnehmende haben sich am 18. November 2023 beim Raumfahrthistorischen Kolloquium von den vielfältigen Aspekten und Entdeckungen der vergangenen Jahrhunderte inspirieren lassen. Es war das zweite Kolloquium nach der Coronapandemie und fand im Einstein-Saal der Archenhold-Sternwarte in Berlin statt.

Nach einführenden Worten durch **Stefan Gotthold**, Leiter der Archenhold-Sternwarte und Mitorganisator der Tagung, übernahm **Dr. Olaf Przybilski** die Moderation. Im ersten Vortrag zum Thema „Die Raketen zu den Planetenräumen“ erinnerte **Dr. Wolfgang Both** aus Berlin an den 100. Jahrestag der Erscheinung von **Hermann Oberths** gleichnamigem Buch im Münchener Wissenschaftsverlag *R. Oldenbourg*. Eine Neuauflage erschien 1960 mit einem Vorwort von **Wernher von Braun**. Die Teilnehmenden erhielten einen Einblick in die Vorgeschichte des Buches und welche Rolle Oberths Lektüre von **Jules Vernes**’ Roman „Von der Erde zum Mond“ für sein späteres Werk spielte. Zudem ging Both auf die Beiträge zur Entwicklung der Raumfahrt ein, die vor Oberths Werk entstanden. Dazu gehörte beispielsweise 1810 die erste Ableitung der Raketengleichung des britischen Mathematikers **William Moore** in „A Journal of Natural Philosophy,



Bild: DGLR-Fachbereich R3

Das Raumfahrthistorische Kolloquium fand erneut in der Archenhold-Sternwarte in Berlin statt

Chemistry and the Arts. Im Anschluss wurde die Wirkung von Oberths Werk auf seine Zeitgenossinnen und Zeitgenossen diskutiert. Während die Rezeption des Buches in Europa und Amerika mit wenigen Ausnahmen gering war, wurde das Werk in der jungen Sowjetunion begeistert kommentiert.

Im zweiten Vortrag begab sich **Michael Tilgner** aus Wedel auf die „dunkle Seite des Mondes“ und ging zunächst auf die Vorstellungen von der **Rückseite des Mondes** vor der Raumfahrt ein. Diese reichten von der Annahme, dass beide Seiten identisch analog der Vorderseite aussehen, bis zu einer mit Leben gefüllten Mondhälfte. Die Spekulationen konnten erst Ende 1959 durch die Aufnahmen der sowjetischen Sonde *Luna 3* beendet werden, die 70 Prozent der Rückseite fotografierte. Weitere und verbesserte Aufnahmen wurden durch spätere Missionen geliefert. Demnach ist die Rückseite reliefarm und arm an Mondmeeren. Auffällig ist nur der als *Moskauer Meer* bezeichnete, runde, dunkle Fleck in sonst weiten Hochebenen, erklärte Tilgner die Ergebnisse.

Im letzten Vortrag des Vormittagsprogramms referierten **Dr. Yelena Stein** und **Dr. Christian Gritzner** vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Bonn über „Die Geschichte der Weltraumteleskope“. **Weltraumteleskope** können, im Gegensatz zu terrestrischen Teleskopen, alle Spektralbereiche ohne Einschränkungen nutzen. Zu den ersten Weltraumteleskopen gehörten die Geräte zur Messung von Gammastrahlung und Partikeln auf den sowjetischen *Proton-1* und *Proton-2*-Satelliten im Oktober 1965. Die

ersten UV-Teleskope befanden sich auf den *Orbiting Astronomical Observatories* (OAO) der amerikanischen Luft- und Raumfahrtbehörde NASA. Von OAO-2 wurden Ende 1968 die ersten UV-Aufnahmen des Weltalls gemacht. Im Vortrag erhielten die Teilnehmenden detaillierte Einblicke in die Entwicklung der Weltraumteleskope und ihrer Instrumente seit den 1970er-Jahren bis heute. Zu guter Letzt gingen die Referierenden auf aktuelle und zukünftige Missionen ein. So diente der 2015 gestartete Satellit *LISA Pathfinder* der Europäischen Weltraumorganisation ESA der Technologieerprobung zur Messung von Gravitationswellen, die ab 2037 die Mission LISA durchführen soll. Abschließend stellten Stein und Gritzner die Ergebnisse des Hubble-Weltraumteleskops und des James-Webb-Teleskops mit neuesten Aufnahmen vor und moderierten die Diskussionsrunde.

Die Nachmittagssitzung war Raumfahrt ingenieuren und ihren Leistungen gewidmet und wurde von **Dr. Christian Gritzner** geleitet. In seinem Vortrag „*Moritz Pöhlmann (1881–1964): Ein Erfinder und seine Rolle bei der Entwicklung der A-4-(V-2)-Rakete des Deutschen Heereswaffenamts*“ zeichnete **Thomas Breit** aus Alzey ein detailliertes Bild eines fähigen Entwicklers, der neben seinen Leistungen für die **Raketechnik** auch beachtliche patentwürdige Beiträge zu Kältemaschinen und Strahlantrieben für Schiffe aufweisen konnte. Zu seinen Erfindungen gehörten zum Beispiel die Film- bzw. Schleirkühlung, die das Durchbrennen der Raketenöfen verhinderte und zu den „*Pöhlmann-Öfen*“ führte. Weitere Entwicklungen betrafen Pumpen und Dampferzeuger, die



Der Vortragssaal des Kolloquiums hat eine große Historie

wegweisend für spätere Entwicklungen in der Raketentechnik waren. Breit erklärte, dass der komplizierte, für Teamarbeit eher ungeeignete Charakter Pöhlmanns allerdings eine größere Wirksamkeit und Anerkennung verhinderte.

Anschließend berichtete Dr. Reinhard Sagner aus Hamburg „Über die Forschungsergebnisse von Johannes Winkler in der Luftfahrtforschungsanstalt Braunschweig von 1939 bis 1947“. Der Beitrag schloss sich an Sagners Vortrag vom letztjährigen Raumfahrthistorischen Kolloquium an, wo er die Arbeiten Winklers in den Dessauer Junkers-Werken behandelte, veröffentlicht in den Abhandlungen der Leibniz-Sozietät, Band 74. In Braunschweig arbeitete Winkler zunächst als freier Mitarbeiter, später als Abteilungsleiter, im Institut für Gasdynamik an effektiven Triebwerken und deren Bündelung sowie an Raketenkennziffern und der Berechnung der Dissoziation von Feuergasen. Diese Arbeiten hielt er nach dem Krieg in zwei Berichten an die britischen Behörden fest.

Im letzten Vortrag „Hans Schneider und seine Konstruktionen von Raketenbrennkammern“ wies Dr. Olaf Przybilski die Spuren des Raumfahrtexperten Hans Schneider in den Bayerischen Motoren Werken in Berlin-Spandau am Standort Züblsdorf, bei der Société d’Études de la Propulsion par Reaction (SEPR) in Villaroche und im Entwicklungsring Nord (ERNO) Raumfahrttechnik GmbH in Bremen nach und zeigte Fragmente von Raketentriebwerken von Schneiders Tätigkeitsorten.

Organisiert wurde das Raumfahrthistorische Kolloquium von Stefan Gotthold (Stiftung Planetarium Berlin), Dr. Christian Gritzner (Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt, DGLR), Dr. Olaf Przybilski (Dresden) und Dr. Dietrich Spänkuch (Leibniz-Sozietät Berlin). Die Beiträge vom Kolloquium 2023 werden in einem Band der Abhandlungen der Leibniz-Sozietät erscheinen. Informationen hierzu und der Termin des Raumfahrthistorischen Kolloquiums 2024 werden auf der DGLR-Homepage mitgeteilt. ●

DER AUTOR

Dr. Dietrich Spänkuch arbeitete nach dem Meteorologiestudium an der Humboldt Universität zu Berlin für zehn Jahre am Institut für Optik und Spektroskopie der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin (DAW) in Berlin-Adlershof auf dem Gebiet der atmosphärischen Optik und Aerosolforschung. Nach seinem Wechsel 1968 zum Meteorologischen Hauptobservatorium Potsdam des meteorologischen Dienstes der DDR beschäftigte er sich mit der Fernerkundung atmosphärischer Parameter. Er war verantwortlich für den DDR-Beitrag an der wissenschaftlichen Vorbereitung und Auswertung mehrerer Weltraumexperimente auf sowjetischen Meteorsatelliten zur Erforschung der Erdatmosphäre sowie an der Venera-15/16-Mission zur Erforschung der Venusatmosphäre und Mitglied in zahlreichen internationalen Gruppen.

DGLR-Workshop:

Künstliche Intelligenz in der Luft- und Raumfahrt

In der Luft- und Raumfahrt ist der Einsatz von Systemen künstlicher Intelligenz (KI) in den letzten Jahren stark vorangeschritten. Um diese aktuellen Entwicklungen in der Konzeption, Implementierung und Anwendung von KI zu beleuchten, hat der Fachausschuss Q3.4 „Software-engineering“ der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR) einen Workshop organisiert. Die Veranstaltung „Künstliche Intelligenz in der Luft- und Raumfahrt“ fand am 5. Oktober 2023 an der Technischen Universität München (TUM) in Garching statt. Mehr als 30 Interessierte aus Forschung und Industrie nahmen teil.

Im ersten Vortrag „SONATE-2 – Eine Technologiedemonstrationsmission für künstliche Intelligenz“ stellte Tobias Greiner von der Universität Würzburg die In-Orbit-Demonstration einer neuen KI-Plattform auf Basis eines Nvidia-Jetson-Xavier-NX-Moduls vor. Diese Plattform ermöglicht die Verarbeitung von Kamerabildern im sichtbaren und nahen Infrarotspektrum zur Erkennung von Blitzen und Anomalien. Zukünftig soll sie auch das On-Board-

Training von KI-Modellen während interplanetarer Missionen erlauben, für die vor dem Start keine Daten über die Zielobjekte vorhanden sind.

Niklas Wartha vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) beschäftigte sich in seinem Vortrag „Artificial Neural Networks for Individual Tracking and Characterization of Wake Vortices in LiDAR Measurements“ mit der Anwendung von Artificial Neural Networks (ANN) zur Erkennung und Charakterisierung von Wirbelschleppen auf Basis von LiDAR-Messungen. Eine Kombination aus mehreren neuronalen Netzen mit unterschiedlichen Architekturen ermittelt Position und Stärke der Wirbelschleppen und soll die zeitaufwändige Radial-Velocity-Methode ersetzen. Durch den Einsatz von ANN können „gefährliche“ Wirbelschleppen nun in mehr als 96 Prozent der Fälle erkannt werden.

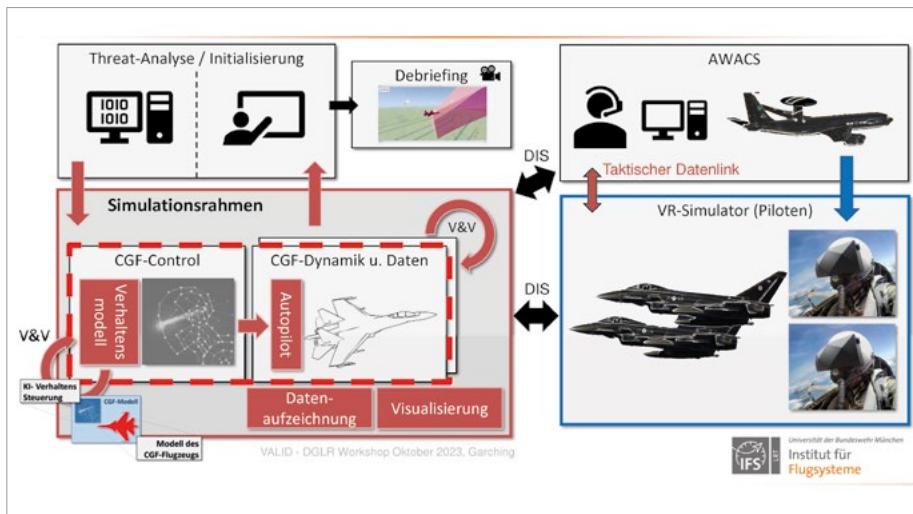
Marcel Anselment von der Universität Stuttgart erläuterte in seiner Präsentation „Von Daten zu interpretierbaren physikalischen Modellen mit Methoden der künstlichen Intelligenz“ die Verwendung von

KI-Algorithmen, insbesondere der symbolischen Regression, zur Generierung und Optimierung symbolischer mathematischer Modelle zur Beschreibung von Datenzusammenhängen. Diese Modelle sind im Gegensatz zu neuronalen Netzen (oft als Black Box bezeichnet) für Menschen nachvollziehbar – eine wichtige Voraussetzung für die Zulassung.

Dr. Simon Gottschalk von der Universität der Bundeswehr München stellte in seinem Vortrag „Reinforcement Learning in der Weltraumschrottbeseitigung“ dar, wie die klassische mathematische Optimal-



KI soll das Pilotentraining verbessern



Experimentaler Aufbau – Erkennung und Verifikation von Drohnen mittels KI

steuerungsmethode zur Steuerung von Servicesatelliten mit Roboterarmen teilweise durch KI ersetzt werden kann. Dabei navigieren durch *Reinforcement Learning* (Methode maschinellen Lernens, bei dem eine Software selbstständig eine Strategie erlernt, um erhaltene Belohnungen zu maximieren) trainierte Regler den Satelliten zum Zielort. In einer Simulationsumgebung wurden die vorgestellten Methoden getestet, unter anderem bei einem Dockingmanöver mit einem beweglichen Zielobjekt.

Der Vortrag „Deep Learning Based Aerodynamic Dataset Generation for Combat Aircraft“ von **Vincent Maes** von *Airbus Defence and Space* beschäftigte sich mit der Verwendung von *ANN* zur Erzeugung aerodynamischer Datensätze, die für die Entwicklung von Flugregelsystemen von Kampfflugzeugen erforderlich sind. Das KI-Modell wird dabei mit experimentell ermittelten Daten aus Windtunnel- und Flugtests sowie aus numerisch gewonnenen Daten trainiert – letzteres, um den Rauschanteil in den Messdaten zu kompensieren. Auch hier wurde eine Kombination verschiedener KI-Techniken untersucht, um ein optimales Modell zu erhalten.

Die Präsentation „Verhaltensmodellierung von Computer Generated Forces im Beyond-Visual-Range-Luftkampf“ von **Fabian Reinisch** von der Universität der Bundeswehr München befasste sich mit der realitätsnahen Simulation des Verhaltens von *Computer Generated Forces (CGF)* zur Verbesserung des Pilotentrainings unter Einsatz von KI. Dabei wird der Pilotenworkflow in Aufgaben und Unteraufgaben aufgeteilt und mit sogenannten Behavior

Trees modelliert. Dieser Ansatz macht das Verhalten der CGF erklärbar. Die KI steuert die dynamischen Modelle und Radarmodelle der gegnerischen Luftfahrzeuge an, die mit der Software *Matlab/Simulink* modelliert wurden. Das Verhaltensmodell soll durch erfahrene Pilotinnen und Piloten im Virtual-Reality-Simulator validiert werden.

Stefan Raab von der *MathWorks GmbH* sprang kurzfristig für seinen erkrankten Kollegen **Christoph Stockhammer** ein. In seinem Vortrag „Towards certification of machine-learning systems for airborne applications“ erläuterte er, dass Machine-Learning-(ML)-Technologien nicht mit existierenden Zulassungsvorschriften kompatibel sind. Er präsentierte eine Vorgehensweise, damit solche Systeme auch mit bestehenden Vorschriften zugelassen werden können – allerdings nur bis zum *Design Assurance Level D*. Raab verwendete eine Fallstudie zur *Runway Sign Classification*, um die vorgestellte Vorgehensweise zu veranschaulichen. Die Fallstudie ist in der *Qualification Toolbox* der Software Mathworks enthalten.

Tjorven Duflat von der *Elektroniksystem- und Logistik-GmbH (ESG)* und **Johannes Hözl** von *Walaris* beschrieben in ihrem Vortrag „Sichere automatisierte Drohendetektion mittels KI-Bilderkennung“ wie die KI-basierte Software *Walaris Airscout Verify* über die Auswertung von Kamerabildern die Erkennung und Verifikation von Drohnen erleichtert. Das System ermöglicht die automatische Kameranachführung durch die Fusion von Kameradaten mit denen weiterer Sensoren wie *RF-Peiler (Radio Frequency)* oder Radar. Dadurch kann die Operateurin oder der Operateur

deutlich entlastet werden. Die Software von Walaris wurde dazu in das Führungs- und Kontrollsysteem *ELYSIS* der ESG integriert.

Die Vorträge im Workshop beleuchteten die verschiedenen Ansätze zur Kombination von KI-Methoden, darunter die Integration von neuronalen Netzen mit anderen KI-Methoden sowie mit klassischen Verfahren. Die Herausforderungen und Möglichkeiten der Zulassung von KI in der Luft- und Raumfahrt kamen ebenfalls zur Sprache.

Begleitet wurden die Vorträge von umfangreichen Fragen und engagierten Diskussionen, die während der beiden Kaffeepausen und des Mittagessens ihre Fortsetzung fanden. Die Teilnehmenden nutzten intensiv die Gelegenheit für einen allgemeinen Informations- und Gedanken austausch. Abschließend erörterten sie, ob die bisherige Form des Workshops noch zeitgemäß sei. Die Mehrheit sprach sich für eine Fortsetzung des Formats aus. Aus dem Plenum kamen auch Vorschläge für zukünftige Workshopthemen.

Ein herzliches **Dankeschön** geht an die Vortragenden für ihre hervorragenden Präsentationen. Ein besonderer Dank gilt den Mitarbeitern des Lehrstuhls für Flugsystemdynamik von **Prof. Dr. Florian Holzapfel**, für ihre Unterstützung bei der Vorbereitung und Durchführung des Workshops sowie der TUM für die Überlassung des Hörsaals. ●

Hinweis: Dieser Bericht wurde zum Teil mithilfe von ChatGPT verfasst – passend zum Thema.

DIE AUTOREN

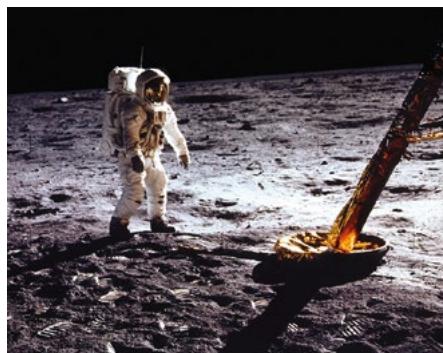
Frank Dordowsky arbeitet als System- und Softwareingenieur für Avioniksysteme und als Musterprüflingenieur Software bei der *ESG Elektroniksystem- und Logistik-GmbH*. Er ist seit 2002 Mitglied bei der *DGLR* und stellvertretender Leiter des Fachausschusses Q3.4 „Softwareengineering“.

Richard Seitz ist Physiker und arbeitet als Systemingenieur im Innovationsbereich bei der *Airbus Defence and Space GmbH* in München. Er leitet seit 2006 den DGLR-Fachausschuss Q3.4 „Softwareengineering“.

Würdigung der Aktivitäten von Dr. Thilo Günter

Am 7. Dezember 2023 hat Dr. Thilo Günter im Namen des Präsidiums der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR) die goldene Nadel für seinen Einsatz im Dienst der DGLR erhalten. Die Übergabe fand auf einer Versammlung der Bezirksgruppe Hamburg an der HAW Hamburg statt. Prof. Dr. Dieter Scholz, Leiter der Bezirksgruppe Hamburg, hielt eine kurze Laudatio.

Von 1987 bis 2023 hat Dr. Thilo Günter in der Bezirksgruppe Hamburg 67 Vorträge über Raumfahrt, Astronomie und Geowissenschaften gehalten. Hinzu kamen elf Vorträge für die Bezirksgruppe Braunschweig (1995–2005) sowie einige Vor-



Bilder NASA

Dr. Thilo Günter hielt von 1987 bis 2023 zahlreiche Vorträge, zum Beispiel über die Mondlandung und Astronomie mit dem Hubble-Weltraumteleskop

träge am *Planetarium Hamburg*, gehalten als Gemeinschaftsveranstaltungen von Planetarium und DGLR (1995–2002). Viele Jahre war Günter Ansprechpartner für die Raumfahrt in der Bezirksgruppe Hamburg. Von 1993 bis 2018 hat er als DGLR-Vertreter 20 Vorträge auf der jährlichen Tagung des *Deutschen Vereins zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts e. V. (MNU)* in Bremerhaven gehalten.

- 2011: Die Space-Shuttle-Ära – Ein Rückblick
- 2012: Astronomie mit dem Hubble-Weltraumteleskop
- 2016: Auf der Suche nach außerirdischem Leben

Eine Übersicht der Titel seiner in der Bezirksgruppe Hamburg gehaltenen Vorträge gibt es auf

<http://Guenter.AeroLectures.de> •

DER AUTOR

Prof. Dr. Dieter Scholz ist Leiter der DGLR-Bezirksgruppe Hamburg. An der HAW Hamburg vertritt er die Fächer Flugzeugentwurf, Flugmechanik und Flugzeugsysteme in Forschung und Lehre.

Bild: DGLR-Bezirksgruppe Hamburg



Dr. Thilo Günter (l.) zeigt die goldene DGLR-Nadel. Die kurze Laudatio hielt Prof. Dr. Dieter Scholz, Leiter der Bezirksgruppe Hamburg (r.)

Einige Highlights unter seinen Vorträgen waren:

- 1987: Astronomische Beobachtung am *Europäischen Süd-Observatorium ESO* in Chile
- 1999: Vor 30 Jahren: Menschen auf dem Mond – Apollo 11 und das Mondflugprogramm
- 2005: Der Stoff, aus dem die Sterne sind

Wir trauern um verstorbene Mitglieder

Dipl.-Ing. Hans Ambos
München
* 9.2.1935 † 20.11.2023

Prof. Dr.-Ing. Georg Bräunling
Lüneburg
* 12.10.1948 † 8.11.2023

General a. D. Eberhard Eimler
Rheinbach
* 30.11.1930 † 27.12.2022

Prof. Dr. Dietmar Hennecke
Roßdorf
* 16.8.1939 † 2.12.2023

Thomas Nollenberger
Allersberg
* 10.4.1955 † 6.11.2023

Wolfgang Wyborny
Lohmar
* 23.10.1934 † 20.11.2023

Unser tiefes Mitgefühl gilt den Familien und Angehörigen.

Luft- und Raumfahrt

Jahrgang 45
1/2024

Herausgeber | Redaktion

Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt –
Lilienthal-Oberth e.V. (DGLR)
Godesberger Allee 70
DE-53175 Bonn
Tel.: +49 228 30805-0
Fax: +49 228 30805-24
E-Mail: info@dglr.de
Internet: www.dglr.de

Abonnentenservice

Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt –
Lilienthal-Oberth e.V. (DGLR)
Godesberger Allee 70
DE-53175 Bonn
Tel.: +49 228 30805-0
Fax: +49 228 30805-24
E-Mail: abo@dglr.de

Redaktion

Philip Nickenig M. A. (V.i.S.d.P.)
Alisa Griebler M. Sc. (Chefredaktion)
Nicole Kretschmer M. A. (Redaktion)
Caroline Mahlow B. Sc. (Redaktion)
Hanna Barbe (Redaktion)

Redaktionsbeirat

Alisa Griebler M. Sc.
Dr.-Ing. Christian Gritzner
Dr.-Ing. Cornelia Hillenherms
Dr.-Ing. Rolf Janovsky
Anna Maaßen M. A.
Philip Nickenig M. A.
Dr. Annika Paul
Sascha Rahn M. A.

Grafik

Kerstin Fuchs Grafik Design e.U.
Hauptstraße 140–144/5/39
AT-3400 Klosterneuburg / Kierling
Tel.: +43 699 1811510
E-Mail: post@salzwasserfuchs.com
Internet: www.salzwasserfuchs.com

Druck

bonndruck24
Südstraße 29
DE-53757 Sankt Augustin
Tel.: +49 2241 14568570
E-Mail: kontakt@bonndruck24.de
Internet: www.bonndruck24.de

Anzeigen

Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt –
Lilienthal-Oberth e.V. (DGLR)
Sandra Zühlke
Ute Heuschkel
Godesberger Allee 70
DE-53175 Bonn
Tel.: +49 228 30805-0
Fax: +49 228 30805-24
E-Mail: marketing@dglr.de

Erscheinungsweise

Luft- und Raumfahrt
erscheint 4-mal jährlich + 1 internationale Ausgabe

Autorenbeiträge, die als solche gekennzeichnet sind,
stellen nicht die Meinung des Herausgebers dar.

Druckschluss: 19.12.2023



Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt Lilienthal-Oberth e.V. (DGLR)

Wissenschaftlich-technische Vereinigung

Präsidium der DGLR

Präsident
Dipl.-Ing. Roland Gerhards

1. Vizepräsidentin
Dr.-Ing. Cornelia Hillenherms

**2. Vizepräsident und
Schatzmeister**
Dipl.-Kfm. Ulrich Beck

Mitglieder des Präsidiums
(in alphabetischer
Reihenfolge)

Dr. Bianca Hörsch
Dr.-Ing. Rolf Janovsky
Prof. Dr.-Ing. Uwe Klingauf
Prof. Dr.-Ing. Martin Tajmar
Dipl.-Biol. Andreas Wolke

Beauftragte des Präsidiums
Dr.-Ing. Detlef Müller-Wiesner
(Vorsitzender des
Ehrungsausschusses)

Dr.-Ing. Michael Söltner
(Bevollmächtiger für
Bezirksgruppen)

Prof. Dr.-Ing. Eike Stumpf
Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing.
Katharina Schäfer
(Bevollmächtigte für
Nachwuchs)

Prof. Dr.-Ing.
Cord-Christian Rossow
(Bevollmächtiger für
AAE-Angelegenheiten)

Jens Freymuth M. Sc.
(Vorsitzender des
Jungen Senats)

Generalsekretär
Philip Nickenig M. A.

Fachgremien der DGLR

Luftfahrt

L1 Luftverkehr
Leiter: Wolfgang Grimme
Stellv.: Dr. Annika Paul

L2 Bemannte Luftfahrzeuge

Leiter: Dipl.-Ing. Daniel Reckzeh

Stellv.: Prof. Dr.-Ing. Eike Stumpf

L3 Unbemannte Fluggeräte

Leiter: Prof. Dr. ir. Maarten Uijt de Haag

Stellv.: Daniel Sülberg

L4 Kabine

Leiter: Björn Nagel

L5 Luftfahrtantriebe

Leiter: Dr.-Ing. Gerhard Ebenhoch

Stellv.: Prof. Dr.-Ing. Dieter Peitsch

L6 Flugmechanik/Flugführung

Leiter: Prof. Dr.-Ing. Flavio Silvestre

Stellv.: Dr.-Ing. Klaus Lesch

L7 Luftfahrt und Gesellschaft

Stellv.: Hedwig Sensen

Raumfahrt

R1 Raumfahrttechnik

Leiter: Prof. Dr.-Ing. Enrico Stoll

Stellv.: Dr.-Ing. Michael H. Obersteiner

R2 Raumfahrtwissenschaft und -anwendung

Leiter: Dr.-Ing. Christian Langenbach

Stellv.: Dipl.-Ing. Klaus-Peter Ludwig

R3 Raumfahrt und Gesellschaft

Leiter: Dr.-Ing. Christian Gritzner

Stellv.: Dr.-Ing. Jürgen Schlutz

Querschnittsthemen

Q1 Werkstoffe – Verfahren – Bauweisen

Leiter: Dr.-Ing. Christian Weimer

Stellv.: Prof. Dr.-Ing. Ulf Breuer

Q2 Fluid- und Thermodynamik

Leiter: Prof. Dr.-Ing.

Christian Breitsamter

Q3 Avionik und Missionstechnologien

Leiter: Dr.-Ing. Thomas Wittig

Stellv.: Prof. Dr. Peter Stütz

Q4 Systemtechnik/-management

Leiter: Dipl.-Ing. Joachim Majus

Q5 Luft- und Raumfahrtmedizin

(Schnittstelle zur DGLRM)

Leiter: Dr. med. Torsten Pippig

Bezirksgruppen der DGLR

Bezirksgruppe Aachen

Leiter: Dr.-Ing. Tobias Ostermann
Stellv.: Florian Schütke M. Sc.

Bezirksgruppe Berlin-Brandenburg

Leiter: Dipl.-Ing. Stefan Hein
Stellv.: Prof. Dr.-Ing. Dieter Peitsch

Jens Freymuth M. Sc.

Bezirksgruppe Braunschweig

Leiter: Horst Günther
Stellv.: Dr.-Ing. Martin Schuermann

Bezirksgruppe Bremen

Leiter: Dr. Andreas Reim
Stellv.: Hassan Chraibi

Bezirksgruppe Darmstadt

Bezirksgruppe Dresden

Leiter: Dr.-Ing. Falk Hänel
Stellv.: Alexander Knorr

Bezirksgruppe Friedrichshafen

Leiter: Dipl.-Ing. Franz Georg Hey
Stellv.: Dipl.-Ing. Constantin Winter

Bezirksgruppe Hamburg

Leiter: Prof. Dr.-Ing. Dieter Scholz

Stellv.: Dr.-Ing. Martin Speick

Bezirksgruppe Köln-Bonn

Leiter: Dr. Siegfried Voigt
Stellv.: Ralf Ewald

Bezirksgruppe Leipzig

Leiter: André Rohland

Bezirksgruppe Mannheim

Leiter: Dr.-Ing. Erec Fahlbusch
Stellv.: Dr.-Ing. Helmut Warth

Bezirksgruppe München

Leiter: Dr. Peter Hofmann

Bezirksgruppe Stuttgart

Leiter: Jun.-Prof. Björn Annighöfer

Bezirksgruppe Würzburg

Leiter: Julian Scharnagl M. Sc.
Stellv.: Clemens Riegler M. Sc.



Bewerbung

Interessierte **bewerben sich bis zum 21. Januar 2024** mit einer aussagekräftigen und überzeugenden PDF-Bewerbung mit Lebenslauf, Motivationsschreiben, Passbild und entsprechenden Referenzen (Zeugnisse, Beurteilungen) in **einem Dokument** per Mail an bewerbung@iacegermany.de.

Für weitere Fragen besuchen Sie unsere Homepage www.iacegermany.de oder senden Sie uns eine Mail an info@iacegermany.de.

Finanzierung

Für die Teilnahme inkl. Flug, Unterkunft, Vollverpflegung, Programm im Austauschland, Polohemd, Krawatte und einer Jahresmitgliedschaft im DGLR e.V. ist ein Eigenbeitrag von 650,- Euro zu leisten. In einigen Ländern wird zusätzlich ein dunkler Anzug benötigt.

CHECKLISTE IACE-TEILNAHME

TEILNAHME-BEDINGUNGEN

- ALTER ZWISCHEN 18 UND 20
- INTERESSE AN LUFT- UND RAUMFAHRT
- FLIEßEND ENGLISCH
- TEILNAHME AM VORTREFFEN IN KÖLN IM JUNI 2024
- BEREITSCHAFT DEUTSCHLAND IN EINEM INTERNATIONALEN UMFELD ZU REPRÄSENTIEREN

BEWERBUNG

- ÜBERZEUGENDES MOTIVATIONSSCHREIBEN
- LEBENSLAUF
- FREMDSPRACHENNACHWEISE
- REFERENZEN (ZEUGNISSE, BEURTEILUNGEN, ARBEITSZEUGNISSE)
- PASSBILD
- ALS EINE PDF-DATEI

BIS 21. JANUAR 2024 PER MAIL AN
bewerbung@iacegermany.de





DGLR

DLRK 2024

DEUTSCHER LUFT- UND RAUMFAHRTKONGRESS

30.09. – 02.10.2024 | HAMBURG

WERDEN SIE TEIL DES DLRK-PROGRAMMS 2024

**REICHEN SIE BIS
28. MÄRZ 2024
IHREN BEITRAG EIN!**



DLRK2024.DGLR.DE

