

Luft- & Raumfahrt

Informieren • Vernetzen • Fördern



Space Mining – Bergbau über den Wolken

Internationale Fusionen in der Luftfahrt – Ein neuer Trend?

Das Projekt OneWeb – Satellitenbau in neuen Dimensionen

h-aero – Ein Hybrid in jeder Hinsicht

Alisa Griebler
DGLR-Kommunikation



Bild: Michael Griebler

Liebe Leserinnen und Leser,

was ändert sich, wenn wir die Erde aus der Luft oder sogar aus dem Weltall betrachten? Die Ländergrenzen verschwinden. Gerade die Raumfahrt zeigt: Wenn wir diese Grenzen auch aus unseren Köpfen verbannen, können wir wunderbar zusammenarbeiten. Ein perfektes Beispiel dafür ist die *Internationale Raumstation ISS*. Seit über 20 Jahren ist sie das Zeichen friedlicher Zusammenarbeit im All und zeigt, was gemeinsam erreicht werden kann.

Diese Mentalität brauchen wir auch für heutige und zukünftige Raumfahrtprogramme. Denn hier verlassen wir die bekannten Ländergrenzen – wie zum Beispiel beim Thema „*Space Mining*“, also dem Bestreben, zu anderen Planeten oder Asteroiden zu reisen und dort Rohstoffe wie Edelmetalle oder seltene Erden abzubauen. Denn obwohl der Weltraumvertrag von 1967 regelt, dass Himmelskörper nicht von einzelnen Staaten in Besitz genommen werden dürfen, gibt es hier noch viel internationalen Klärungsbedarf. Unser Titelthema zeigt den aktuellen Stand der Bestrebungen und die Hindernisse für den Ressourcenabbau im All.

Eine internationale Kooperation hat auch dem *OneWeb-Projekt*, über das wir in dieser Ausgabe berichten, Ende Februar 2019 zum ersten Start verholfen. Zusammen brachten das US-amerikanische Unternehmen *OneWeb* und das europäische Raumfahrtunternehmen *Airbus Defence and Space* die ersten sechs von über 600 geplanten Satelliten aus einer neuen Serienfertigung ins All. *OneWeb* soll Internet für die ganze Weltbevölkerung bringen. Ein Vorhaben, von dem auch die Schifffahrt profitieren kann. Was dafür noch alles wichtig ist, erklärt unser Artikel über die Satellitenkommunikation auf hoher See.

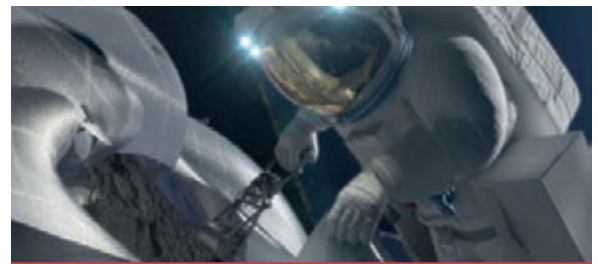
Auch in der Luftfahrt sind länderübergreifende Projekte zunehmend wichtig. Das zeigt sich zum Beispiel in den großen *Zusammenschlüssen* von *Airbus* mit *Bombardier* für die neue *A220* sowie der Kooperation von *Boeing* und *Embraer* für die Zivilflugsparte des brasilianischen Unternehmens. Außerdem präsentieren wir in diesem Magazin das unbemannte Fluggerät *h-aero*, ein Hybrid aus Flugzeug, Ballon und Hubschrauber, das als erste Drohne in Deutschland auch für den Einsatz über Menschenmassen zugelassen ist. Ein weiterer Artikel bietet einen Rückblick auf die zehnjährige Entwicklung des Atmosphären-Forschungsflugzeugs *HALO*. Sein Pilot *Stefan Grillenbeck* liefert Einblicke in den Forschungsalltag.

Natürlich finden Sie in diesem Heft auch wieder diverse Themen rund um die DGLR. So kann ich Ihnen einen Besuch bei unserem *Deutschen Luft- und Raumfahrtkongress (DLRK)* vom 30. September bis 2. Oktober 2019 in Darmstadt ans Herz legen. Hier können Sie Ihre persönlichen nationalen und internationalen Kooperationen pflegen. Für alle Raumfahrtbegeisterten bietet sich dazu übrigens auch schon früher im Jahr eine Gelegenheit: Besuchen Sie unser Jubiläumssymposium zum Thema „*50 Jahre Mondlandung*“ am 29. Mai 2019 im *Technik Museum Speyer* – mit garantiert hoher internationaler Beteiligung.

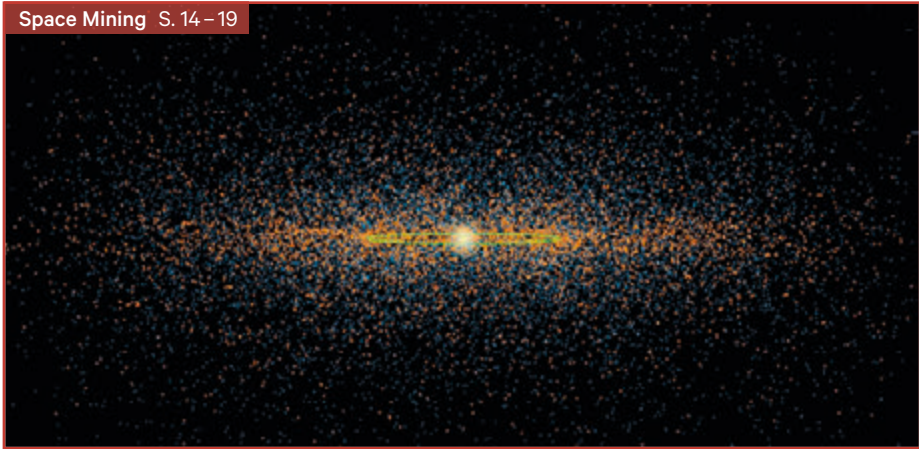
Ihre Alisa Griebler

Inhalt Ausgabe 2 / 2019

Vorwort	4
Meldungen	6–14
Meldungen Luftfahrt	
Jahresbilanz von Airbus und Boeing	6
Probleme bei Boeing 737 MAX	
Airbus stellt Produktion der A380 ein	7
DFS kontrollierte 2018 mehr Flüge	
Farnborough streicht Publikumswochenende	8
Neue Möglichkeit zur Flugzeugenteisung	
Meldungen Raumfahrt	
Testflug der „Crew Dragon“	9
Erste OneWeb-Satelliten gestartet	
Marsmaulwurf muss pausieren	10
Kein Lebenszeichen mehr von „Opportunity“	
Asteroiden-Abwehrmission Hera	11
Erstes 3D-Druck-Triebwerk getestet	
Meldungen DGLR	
Jubiläumssymposium: 50 Jahre Mondlandung	12
68. DLRK in Darmstadt	
<hr/>	
Titelthema: Space Mining	14–19
<hr/>	
Luftfahrt	20–33
Internationale Fusionen in der Luftfahrt	20–23
Interview mit Florent Massou	
Hybridflugzeug h-aero	24–27
10 Jahre HALO Interview mit Stefan Grillenbeck	28–32
<hr/>	
Raumfahrt	34–41
Das Projekt OneWeb	34–37
Satellitenkommunikation auf hoher See	38–41
<hr/>	
DGLR-Weiterbildung UAS-Flugregelung ...	42–43
<hr/>	
Nachwuchs AQUARIUS	44–45
<hr/>	
Technischer Artikel	46–50
Flugbahnregelung für Kippflügelflugzeuge	
<hr/>	
Veranstaltungen	52–57
Termine	52
Berichte:	
DGLR-Abend in Berlin: Luftfahrt der Zukunft	53
Mobil bleiben: Podiumsdiskussion in Braunschweig	54
Vortrag: Luftwaffengeschwader 71 „Richthofen“	55–57
<hr/>	
Personalia	58–61
Danksagung Verstorbene Mitglieder	58
Nachruf auf Prof. Gero Madelung	59–61
<hr/>	
Impressum	62



Space Mining S. 14 – 19



10 Jahre HALO S. 28 – 32



Internationale Fusionen S. 20 – 23



Hybridflugzeug h-aero S. 24 – 27



Das Projekt OneWeb S. 34 – 37



Satellitenkommunikation auf hoher See S. 38 – 41






TENNANT
Metall & Technologie GmbH

SPECIAL STEEL EXPERTS

quality products,
competent service and
optimal solutions
supporting your success




Seit mehr als 30 Jahren vertrauen Kunden in 48 Ländern unserer Expertise wenn es um hochfeste Stähle für die Luft- und Raumfahrt geht. Wir finden individuelle Lösungen für Ihren Materialbedarf – schnell und kompetent.

▪ Stäbe	▪ Profile	▪ Umfangreiches Lagerprogramm
▪ Bleche	▪ Hohlstäbe	▪ Interne Anarbeitung
▪ Rohre	▪ Schmiedeblocke	▪ Wärmebehandlung
▪ Draht	▪ Spezialprodukte	▪ Unabh. Materialprüfung

TENNANT Metall & Technologie GmbH
Castroper Str. 80 3 DE-44628 Herne
Tel.: +49 (0)2323 96540-0 · post@tennant-metall.de · www.tennant-metall.de

1.4534 / PH13-8Mo – 1.4545 / 15-5PH – 1.4548 / 17-4PH
1.4544 / 321 – 1.7734 / 15CDV6 – und viele mehr

Sehr geehrte Leserinnen und Leser, liebe Mitglieder der DGLR,

die Raumfahrt steht an einer historischen Wegmarke: Die USA, China und Russland verfolgen ambitionierte Raumfahrtstrategien mit dem Ziel, aus strategischen und wirtschaftlichen Gründen Zugang und Kontrolle über die Erde und Himmelskörper wie den Mond, andere Planeten und Asteroiden zu bekommen. Die USA sprechen offen davon, dass ihr Ziel im Weltraum nicht Kooperation, nicht Führung, sondern „Dominanz“ ist. China strebt dasselbe an. Die USA alleine investieren jährlich 20 Milliarden US-Dollar in Programme der NASA und zugleich 40 Milliarden in militärische Raumfahrtprogramme. Eine „Space Force“ soll jetzt zur fünften Teilstreitkraft der USA aufgebaut werden – nicht Science Fiction, sondern Realität.

Große Vorhaben wie das *Lunar Orbital Platform Gateway* (früher *Deep Space Gateway*) oder Mondmissionen werden heute mit langfristigen Zielsetzungen in Angriff genommen und mit enormen Mitteln alimentiert. Zugleich verändert sich die Raumfahrt in wirtschaftlicher Hinsicht massiv. Schlagworte wie *New Space*, *Digitalisierung*, *Cybersicherheit* und *Big Data* verdeutlichen dies und erfordern auch auf industrieller Seite ein grundlegendes Umdenken. Vor diesem Hintergrund bin ich dankbar, im Vorstand von Airbus die Forschung und technologische Weiterentwicklung in diesem hochspannenden Bereich verantworten zu dürfen und Airbus auf die damit verbundenen Herausforderungen auszurichten. Gleichzeitig freue ich mich, als neues Mitglied im Präsidium der DGLR auch die öffentliche Diskussion in Wissenschaft, Wirtschaft und Politik mitgestalten zu können. Wir dürfen keine Zeit verlieren: Deutschland und Europa müssen jetzt handeln, wenn wir unsere berechtigten Interessen sichern wollen.

Dieses Jahr stehen grundlegende Entscheidungen auf politischer Ebene an, um unsere Branche zukunftsgerichtet aufzustellen: Die ESA-Ministerratskonferenz 2019, genannt *Space19+*, wird im November die Grundlage für Europas Zukunft im Weltraum legen. Dafür hat die ESA inzwischen gute Vorschläge unterbreitet, etwa der Weiterbetrieb der Internationalen Raumstation ISS bis 2028 oder 2030.

Gleichzeitig benötigen wir eine maßgebliche Beteiligung am von der NASA geplanten „Gateway“ in der Mondumlaufbahn – da sollte eine in der Exploration führende Raumfahrtnation wie Deutschland dabei sein. Funktionieren wird das aber nur, wenn konsequent der Weg zu einer industriell betriebenen und kommerziell ausgerichteten ISS beschritten wird. Damit und mit einer Aufstockung zur Beteiligung am Gateway kann Deutschland eine gewichtige Rolle bei dem strategischen Rennen zu den Himmelskörpern spielen. Und da gilt: Entweder man ist richtig dabei oder gar nicht. Halbe Sachen führen hier nicht zum Erfolg. Diese Entwicklung wird auch die technologische Grundlage für das momentan in aller Munde befindliche „Space Mining“ mit sich bringen. Robotische und später astronautische Missionen, der Aufbau einer Infrastruktur und logistischer Konzepte werden hier ihren Ausgangspunkt haben. Mittel- bis langfristig wird das zu einer neuen Wirtschaftszone im Weltraum führen. Dafür müssen politische Rahmenbedingungen geschaffen werden. Unabhängig davon werden aber für uns auf der Erde unmittelbar wichtige Themen aus dem Anwendungsbereich, wie Erdbeobachtung und Navigation, eine essenzielle Bedeutung haben. Das heißt, dass eine Erhöhung des deutschen Beitrags zum ESA-Budget notwendig wird – mit gut einer Milliarde Euro jährlich.

Der Nutzen für die Menschen muss im Mittelpunkt stehen. Und da spielt die Raumfahrt eine besondere Rolle. Durch die hohen technologischen Ansprüche fördert sie Innovationen, die der gesamten Industrie zugutekommen. Zugleich schafft sie Voraussetzungen für Digitalisierung, intelligente Verkehrssteuerung, Kommunikation und Sicherheit der Gesellschaft und Infrastruktur, um nur einige Beispiele zu nennen. Darüber hinaus erfüllt sie einen volkswirtschaftlichen Zweck, mit einer hohen Exportrate und mit hochqualifizierten Arbeitsplätzen in Deutschland. Zudem liegt es im deutschen Interesse, das nationale Raumfahrtbudget deutlich zu steigern. Heute beträgt es mit 270 Millionen Euro nur ein Viertel der französischen und nur die Hälfte der italienischen Investitionen. Deshalb unterstützen wir den Vor-



Bild: Arhus

Grazia Vittadini
Mitglied des DGLR-Präsidiums

schlag, das nationale Budget bis 2021 auf 500 Millionen Euro zu steigern. Damit sichern wir, dass die gesamte deutsche Industrie, große Unternehmen und der Mittelstand, technologisch führend bleibt. Ein gutes Beispiel dafür ist das so erfolgreiche Programm *TerraSAR-/TanDEM-X*, das insbesondere mit seinem globalen Höhenmodell *WorldDEM* weltweit gefragt war. Es ist an der Zeit, diese führende Position mit einer neuen Mission, wie dem in Vorbereitung befindlichen *HRWS (High Resolution Wide Swath)*, auszubauen.

Der Abbau von Rohstoffen im Weltraum, die weitere Erforschung unseres Sonnensystems und unserer Galaxie, die Sicherung unseres Wohlstands und industriellen Fortschritts und das Schaffen von Verständnis für unseren schätzenswerten Lebensraum Erde – das alles ist möglich, wenn jetzt die richtigen Initiativen und Maßnahmen ergriffen werden.

Junge Menschen zu fördern und die Raumfahrt für alle attraktiv zu machen ist eine grundlegende Voraussetzung. In diesem Sinne unterstütze ich persönlich unter anderem „die Astronautin“, eine Initiative, die sich zum Ziel setzt, die erste deutsche Frau ins Weltall zu bringen.

Es ist ein sehr wichtiger Beitrag und eine große Hilfe, dass die DGLR dafür und daran arbeitet junge, für Luft- und Raumfahrt begeisterte Menschen mit einzubinden und so die nächste Generation für die Luft- und Raumfahrt weiterzuentwickeln!

Ihre Grazia Vittadini



FIRST MOON LANDING

50th Anniversary Symposium • 29 May 2019



Technik Museum Speyer - Space Exhibition „Apollo and Beyond“
Special Guest: Charlie Duke - Apollo 11 CapCom & Apollo 16 Moonwalker



Topics

- Apollo 11 - first Moon landing with CapCom Charlie Duke
- Panel discussion: Why human exploration of the Moon?
 - Paperclip Boys
- Past & future lunar exploration programmes from NASA, ESA and Roscosmos
 - New technologies, systems and missions:
Moon geology, lander technologies, human exploration, lunar descent and ascent systems, new space and commercial missions, low frequency radar and astronomy

Speakers and guests

Ian Crawford (University of London)
Hansjörg Dittus (DLR) tbc
Charlie Duke (NASA, retired)
Pascale Ehrenfreund (DLR) tbc
Harald Hiesinger (ESA)
Bérengère Houdou (ESA)
Ralf Jaumann (DLR)
Ernst Messerschmid (Uni Stuttgart)
Walther Pelzer (DLR) tbc
Thomas Reiter (ESA) tbc
Lea-Melissa Vehling
Johann-Dietrich Wörner (ESA)



Technik
Museum Speyer

www.50-jahre-mondlandung.de

Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e.V., info@dglr.de, 0228/308050

Airbus und Boeing stellen Jahresbilanzen von 2018 vor

Der amerikanische Luftfahrt- und Rüstungskonzern *Boeing* liegt in seiner Jahresbilanz für 2018 nur noch knapp vor seinem europäischen Rivalen *Airbus*. Der US-Konzern lieferte im Laufe des letzten Jahres nach eigenen Angaben insgesamt 806 Verkehrsflugzeuge aus, *Airbus* kam auf 800 Maschinen.

Für *Airbus* bedeutet die Auslieferung von 800 Verkehrsflugzeugen an 93 Kunden einen neuen Unternehmensrekord und eine Steigerung um elf Prozent gegenüber dem bisherigen Rekord von 718 Flugzeugen aus dem Jahr 2017. Damit konnte das Unternehmen im sechzehnten Jahr in Folge jeweils eine Steigerung der ausgelieferten Verkehrsflugzeuge im Jahresvergleich verzeichnen. *Airbus* hat in diesem Zeitraum

auch seine Produktion stetig gesteigert. Spitzenreiter bei den Auslieferungen waren mit 626 Maschinen die Kurz- und Mittelstreckenflugzeuge der A320-Familie, davon entfielen 386 Flugzeuge auf die A320neo-Familie. Von dem Großraumflugzeug A380, dessen Produktionsstopp inzwischen verkündet wurde, wurden 2018 noch 12 Maschinen ausgeliefert.

Auch *Boeing* hat mit 806 Auslieferungen seinen bisherigen Rekord von 763 Auslieferungen im Jahr 2017 deutlich übertroffen. Das Dreamliner-Programm von Boeing verzeichnete 2018 die Auslieferung von 145 Maschinen. Auch bei Boeing war insbesondere der Kurz- und Mittelstreckenflieger, die 737, begehrt. Fast die Hälfte dieser 580 Auslieferungen der Boeing

737 betrafen die MAX-Familie. Diese stellt Boeing jedoch derzeit vor einige Probleme: Nach zwei Abstürzen einer 737 MAX 8 innerhalb von fünf Monaten sollen alle 371 aktiven Maschinen des Typs bis auf weiteres am Boden bleiben. ●



Bild: Airbus

Start eines Airbus A320neo

Flugverbote für Boeing 737 MAX nach erneutem Unglück

Es war bereits der zweite verheerende Unfall einer Boeing-Maschine des Typs 737 MAX 8 innerhalb von nur fünf Monaten. Am 10. März 2019 stürzte eine Maschine von *Ethiopian Airlines* kurz nach dem Start in Addis Abeba, etwa 60 Kilometer südöstlich der äthiopischen Hauptstadt, ab. Zahlreiche Länder, darunter die gesamte Europäische Union und die USA, sperrten in den Tagen nach dem erneuten Absturz ihren Luftraum für Flugzeuge vom Typ Boeing 737 MAX 8 und Boeing 737 MAX 9.

Die europäische Luftfahrtbehörde EASA bezeichnete das Verbot als „Vorsichtsmaßnahme“. Der Absturz in Äthiopien

wird von den dortigen Behörden mit Unterstützung des *National Transportation Safety Board* untersucht. Auch mehrere Fluggesellschaften haben das Modell vorläufig aus dem Verkehr gezogen. *Boeing* selbst empfahl als Vorsichtsmaßnahme ein vorübergehendes weltweites Startverbot für alle 371 Flugzeuge der Baureihe 737 MAX.

Im Falle des Absturzes im März hatte der Pilot direkt nach dem Start einen Notruf abgesetzt und die Freigabe zur Rückkehr zum Platz erhalten. Um 8:44 Uhr Ortszeit ging der Kontakt zur Maschine verloren. Alle 149 Passagiere und acht Besatzungs-

mitglieder an Bord von Flug ET 301/10 nach Nairobi kamen bei dem Flugzeugabsturz ums Leben. Erst im Oktober 2018 war ein baugleiches Flugzeug in Indonesien abgestürzt. Beide Flüge waren bei guten Wetterverhältnissen kurz nach dem Start in Schwierigkeiten geraten. Ein ähnlicher Fehler in der Elektronik wird immer wahrscheinlicher.

Beim Absturz vom vergangenen Oktober in Indonesien besteht der Verdacht, dass das sogenannte *Maneuvering Characteristics Augmentation System (MCAS)* des Flugzeugs durch einen defekten Anstellwinkel-Sensor falsche Signale erhielt und daher – um einen vermeintlichen Strömungsabriss zu vermeiden – die Nase des Fliegers immer wieder nach unten drückte, indem es das Höhenruder entsprechend trimmte.

Boeing kündigte am 11. März 2019 an, die Software des Typs verbessern zu wollen. Diese Updates sollen die Trimbefehle im Fall von falschen Anstellwinkel-Sensordaten begrenzen. Auch Änderungen bei Cockpitanzeigen, Betriebshandbüchern und Crew-Trainings seien geplant. Die amerikanische Luftfahrtbehörde *Federal Aviation Administration (FAA)* geriet nach den Abstürzen für ihre Zulassung des Modells ebenfalls in die Kritik. ●



Bild: Boeing

Am 10. März 2019 stürzte eine Ethiopian-Airlines-Maschine des Typs B737 MAX 8 kurz nach dem Start ab

Airbus stellt Produktion der A380 ein

Der größte Passagierjet der Welt steht vor dem Aus: Airbus wird die Auslieferungen der A380 ab 2021 einstellen. Damit war der Megajet nach seiner Premiere durch *Singapore Airlines* 2007 gerade einmal 14 Jahre auf dem Markt. Wie der scheidende Airbus-Konzernchef **Tom Enders** am 14. Februar 2019 verkündete, gibt es keinen nennenswerten A380-Auftragsbestand mehr und damit keine Grundlage für eine Fortsetzung der Produktion. Die größte A380-Kundin *Emirates* hatte im Februar ihre Bestellungen von 162 auf 123 Maschinen reduziert. Auch die australische Fluggesellschaft *Qantas* hatte zuletzt die Bestellung von acht A380 zurückgezogen.

Vielen Airlines ist der Riesenjet, der über 500 Personen Platz bietet, zu groß und verbraucht zu viel Treibstoff. Die A380 hat eine Reichweite von 15.200 Kilometern und ist gut 72 Meter lang. Die Flügelspannweite liegt bei knapp 80 Metern. Die Entwicklung des Luftverkehrs zeigt, dass ein Flugzeug von der Größe eines Airbus A380 sich nur rechnet, wenn konstant alle Plätze gefüllt werden. Aus diesem Grund kann sie nur auf



Bild: Airbus

Emirates hatte ihre A380-Bestellung im Februar 2019 von 162 Maschinen auf 123 reduziert

sehr wenigen Routen lukrativ eingesetzt werden. Für den Giganten bekamen zahlreiche Flughäfen extra neue Terminals.

Kaum ein Flugzeug bietet so viel Platz und Komfort für die Reisenden. Daher hob Enders die A380 auch als **Passagierliebling** heraus: „Passagiere in aller Welt lieben dieses wunderbare Flugzeug. Die heutige Ankündigung ist schmerzlich für uns und für die A380-Communities weltweit. Vergessen Sie aber nicht, dass die A380 noch viele Jahre lang am Himmel unterwegs sein wird.“ In diesem Zusammenhang wies Enders darauf hin, dass Airbus die Betreiber der A380 auch weiterhin uneingeschränkt unterstützen wird.

Von dem Produktionsstopp könnten in den nächsten drei Jahren **3.000 bis 3.500 Stellen betroffen** sein. Airbus kündigte an, dass sich zahlreiche Möglichkeiten für interne Stellenwechsel ergeben würden. Betroffen sind darüber hinaus auch hunderte, zum Teil mittelständische **Zulieferunternehmen**, die in die Produktion der A380 eingebunden sind.

Die Bundesregierung prüft derzeit **Rückforderungsansprüche** gegen Airbus wegen eines 2002 gewährten A380-Darlehens in Höhe von **942 Millionen Euro**. Die Rückzahlung ist an die Auslieferungen der A380 gekoppelt und wurde bisher nur zu rund einem Drittel zurückgezahlt. ●

Deutsche Flugsicherung verzeichnet neuen Verkehrsrekord



Bild: Till Westermeyer (CC-BY-SA 2.0)

Der Flughafen Frankfurt am Main verzeichnete 2018 in Deutschland die meisten Starts und Landungen

Laut ihrem Anfang 2019 veröffentlichten Jahreskurzbericht verzeichnete die **Deutsche Flugsicherung (DFS)** für 2018 einen neuen Verkehrsrekord. Danach wurden insgesamt rund 3,35 Millionen zivile und rund 42.500 militärische Flüge im deutschen Luftraum kontrolliert. Das bedeutet eine Steigerung von 4,2 Prozent gegenüber 2017. Als verkehrsreichster Tag 2018 wurde der 7. September mit 11.024 Flügen registriert.

Nach leichten Rückgängen in den Jahren 2012 und 2013 ist seit 2014 eine stetige

Steigerung des Flugaufkommens im deutschen Luftraum zu verzeichnen. 2018 erfasste die DFS rund **2,3 Millionen Starts und Landungen** an den 16 von ihr kontrollierten Flughäfen. Das bringt wichtige Flughäfen wie in Frankfurt oder Berlin an die **Kapazitätsgrenze**.

Für den Flughafen Frankfurt am Main zum Beispiel wurden 2018 rund 512.000 Starts und Landungen registriert, eine Steigerung von 7,7 Prozent gegenüber 2017. Berlin-Tegel verzeichnete eine Steigerung von 7,8 Prozent gegenüber dem Vorjahr

und kam auf rund 187.000 Starts und Landungen. Die höchste Steigerung mit 13,3 Prozent auf rund 75.000 Starts und Landungen 2018 gab es beim Flughafen Leipzig/Halle.

Auch beim **verkehrsreichsten Tag** ist der Flughafen Frankfurt am Main Spitzenreiter: Am 29. Juni 2018 wurden dort **1.575 Starts und Landungen** abgewickelt. In dieser Kategorie belegt der Flughafen München mit 1.339 Starts und Landungen am 5. Oktober 2018 den zweiten Platz.

Die **DFS** ist ein bundeseigenes, privatrechtlich organisiertes Unternehmen, das mit seinen rund 2.000 Fluglotsen für einen sicheren und pünktlichen Flugverlauf in Deutschland, dem verkehrsreichsten Land in Europa, sorgt. Seit 1993 kontrolliert die DFS nicht nur die zivile Luftfahrt, sondern ist in Friedenszeiten auch für die Abwicklung des militärischen Luftverkehrs zuständig. Davon ausgenommen sind lediglich die Militärflughäfen. ●

Farnborough Airshow streicht Publikumswochenende

Anfang März 2019 haben die Verantwortlichen der *Farnborough International Airshow* bekannt gegeben, dass die nächste Veranstaltung 2020 von **sieben auf fünf Tage gekürzt** wird. Das bisher obligatorische Publikumswochenende wird nicht mehr stattfinden. Man will sich wieder auf die **Wurzeln** der traditionsreichen Luft- und Raumfahrtmesse als Ereignis für **Industrie und Wirtschaft** zurückbesinnen. Aussteller haben in Farnborough die Möglichkeit, Neuheiten vorzustellen, mit potenziellen Kunden Kontakt aufzunehmen und – werbewirksam – Verträge abzuschließen.

Gleichzeitig kündigten die Veranstalter an, den Fokus auf die Einbeziehung von jungen Menschen zu legen. Als **Ausgleich** für das fehlende Publikumswochenende wird die **Öffentlichkeit**, vor allem die nächste Generation von Piloten, Ingenieuren und anderen Luft- und Raumfahrtinteressierten, für den letzten Tag der Airshow eingeladen. Dort haben sie zukünftig auch die Gelegenheit, die **Ausstellungshallen** zu



Bild: Steve Lynes (CC BY 2.0)

Das Freigelände der Farnborough International Airshow 2018

besuchen, die am bisherigen Publikumswochenende nicht zugänglich waren.

Die Farnborough Airshow findet seit 1948 im englischen Farnborough nahe London statt. 2018 verzeichnete sie **mehr als 1.500 Aussteller** aus der Luft- und Raumfahrt-

branche und **80.000 Besucher aus 112 Nationen**. Sie ist eine der wichtigsten Luftfahrtmessen der Welt und findet in jedem geraden Jahr Ende Juli statt. Dabei wechselt sie sich mit der Pariser Luftfahrtmesse in Le Bourget ab, die jeweils in den ungeraden Jahren stattfindet. ●

Neue Enteisierungstechnologie für Flugzeugflügel

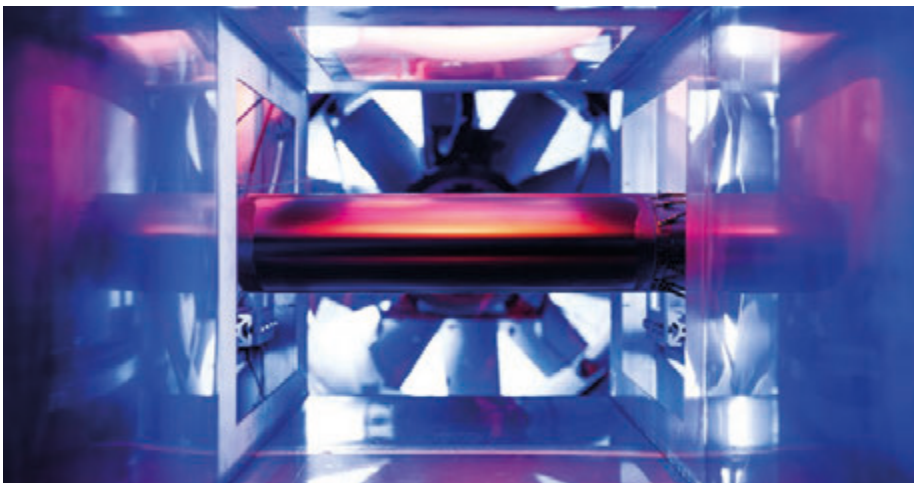
Das **Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)** hat im Januar 2019 eine Lösung gegen das Vereisen von Flugzeugflügeln vorgestellt. Die **neue elektrische Enteisierungstechnologie** kann das Eis entweder abschmelzen oder von vornherein verhindern. Das Verfahren wurde im Enteisungsprüfstand der **Technischen Universität Braunschweig** im Hinblick auf seine Funktionalität und die

Energieeffizienz bereits erfolgreich erprobt.

Am Boden befreien Spezialfahrzeuge mit chemischen Mitteln Flugzeuge von Eis. Doch auch in der Luft müssen die Maschinen geschützt werden. Flugzeugflügel zählen dabei zu den besonders kritischen Stellen. Schon geringe Eisansammlungen können einen negativen Einfluss auf die

Flügelumströmung und die Energieeffizienz haben. Die neue elektrische Enteisierungstechnologie funktioniert ähnlich wie die **Scheibenheizung** eines Autos. Nötig ist diese Heizung beim Flugzeug nur an der **vorderen Flügelkante**, denn wegen des Flugwinds kann sich nur an dieser Kante Eis ablagern.

Dafür wurde in eine Flügelstruktur aus **carbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK)** eine ebenfalls aus Carbonfasern bestehende **Heizstruktur** integriert, das heißt mit der Flügelvorderkante in einem Schritt gefertigt. Die Heizstruktur ist in einzelne **Heizzonen** unterteilt, die separat angesteuert werden können. Dabei kommen verschiedene Heizstrategien zum Einsatz. Bei der **Eisverhütung (Anti-Icing)** wird zu keiner Zeit Eis auf der beheizten Flügelvorderkante zugelassen: Das Eis wird entweder sofort geschmolzen oder mit mehr Energieeinsatz verdampft. Bei der **Enteisung (De-Icing)** wird der Eisansatz in einem bestimmten Zyklus abgeschmolzen, wird also toleriert, solange er sich in bestimmten Grenzen befindet. ●



Flügelvorderkante im Enteisungsprüfstand der TU Braunschweig

„Crew Dragon“ landet nach Testflug sicher im Atlantik

Mit dem erfolgreichen Testflug ihrer Astronautenfähre „Crew Dragon“ ist die private US-Raumfahrtfirma SpaceX ihrem Ziel, Menschen ins All zu befördern, ein Stück näher gekommen: Nach sechs Tagen im Weltraum landete die unbemannte Raumkapsel am 8. März 2019 im Meer vor der Küste Floridas. SpaceX veröffentlichte ein Video von der Landung, das zeigt, wie die Kapsel getragen von vier Fallschirmen im Wasser aufsetzte.

Die Mission diente als erste vollständige Demonstration des Raumschiffs. Am 2. März 2019 war dieses um 8:49 Uhr Mitteleuropäischer Zeit vom US-Weltraumbahnhof in Cape Canaveral in Florida gestartet. Als Trägerrakete diente eine Falcon 9. Nach rund 27 Stunden Flugzeit dockte die „Crew Dragon“ am 3. März an der Internationalen Raumstation ISS an. An Bord war, neben 400 Pfund Material und Ausrüstung für die Raumstation, eine mit Sensoren ausgestattete Puppe, die Daten zu den Belastungen für einen Astro-

nauten an Bord der Kapsel aufzeichnete. Der Testflug sollte sicherstellen, dass das Raumfahrzeug und seine Systeme wie geplant funktionieren, ehe eine Besatzung an Bord geht.

Es war das erste Mal, dass ein privat gebauter und betriebener Crew-Transporter von amerikanischem Boden zur ISS flog. Die NASA nannte das Projekt deswegen einen Meilenstein in der Geschichte der Raumfahrt. Seit acht Jahren muss die amerikanische Raumfahrtbehörde ihre Astronauten mit russischen Raumfähren zur ISS fliegen lassen, weil sie noch keinen Ersatz für das eingestellte Space Shuttle-Programm hat. Mit „Crew Dragon“ und dem „Boeing Starliner“, der noch in diesem Jahr ebenfalls zu seinem ersten unbemannten Testflug starten soll, will sie bald wieder in der Lage sein, Astronauten von den USA aus ins All zu schicken. Die NASA selbst arbeitet zusammen mit der Europäischen Weltraumorganisation ESA derzeit an dem



Bild: NASA

Die „Crew Dragon“ kurz vor ihrem Andocken an der Internationalen Raumstation ISS

bemannten Raumfahrzeug Orion. Orions erster bemannter Raumflug ist für 2022 geplant.

SpaceX hofft, seine „Dragon“-Kapsel in diesem Sommer erstmals bemannt starten zu können. ●

Start der ersten sechs OneWeb-Satelliten



Bild: ESA

Start des Flugs Sojus-VS 21 mit den ersten sechs OneWeb-Satelliten an Bord

Am 27. Februar 2019 sind die ersten sechs Satelliten des Projekts OneWeb Satellites ins All gestartet. Wie OneWeb mitteilte, hob die Sojus-Rakete mit den Satelliten an Bord um 21:37 Uhr Ortszeit vom Weltraumbahnhof Kourou in Französisch-Guayana ab. Rund 650 Satelliten sollen zukünftig überall auf der Erde für schnelles und kostengünstiges Internet sorgen – auch in entlegenen Regionen,

wo es derzeit noch keinen Internetempfang gibt.

OneWeb Satellites ist ein Gemeinschaftsprojekt zwischen dem europäischen Raumfahrtunternehmen Airbus Defence and Space und dem US-Telekommunikationsunternehmen OneWeb. Airbus ist für die Entwicklung und Produktion der Satelliten zuständig.

Hunderte OneWeb-Satelliten, die ungefähr so groß sind wie ein Kühlschrank, sollen in den nächsten Jahren auf einer niedrigen Erdumlaufbahn in Höhe von 1.200 Kilometern ihre Runden ziehen. Derzeit sorgen geostationäre Satelliten für satellitenbasiertes Internet, die die Erde in mehr als 35.000 Kilometer Entfernung umkreisen. Die OneWeb-Satelliten sind kleiner und leichter als gewöhnliche Satelliten, sodass mit einem Raketenstart gleich mehrere von ihnen ins All befördert werden können. OneWeb plant monatliche Starts mit mehr als 30 Satelliten pro Rakete, die bis 2021 für eine vollständige globale kommerzielle Abdeckung sorgen sollen.

Der Start der OneWeb-Satelliten könnte der Beginn einer neuen Ära im Bereich der Kommunikationssatelliten sein. Auch Unternehmen wie SpaceX arbeiten an großen Datennetzwerken aus Hunderten oder Tausenden kleinen Satelliten, die in geringer Entfernung zur Erde fliegen sollen. Ihre Entwicklung wurde vor allem durch neue Lasertechnologie und Computerchips möglich. ●

DLR-Marsmaulwurf HP³ muss pausieren

Am 28. Februar 2019 wurde der Marsmaulwurf HP³ (*Heat Flow and Physical Properties Package*) von dem robotischen Arm des NASA-Landers *InSight* (*Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport*) wie geplant auf dem Mars ausgesetzt. Die

vom *Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)* entwickelte Wärme-flusssonde ist eines von drei Experimenten an Bord von *InSight*. Sie soll sich mit einem elektrisch angetriebenen Hammer-schlagmechanismus bis zu fünf Meter tief in den Marsboden hämmern und Daten zum dortigen Temperaturgefälle liefern.

Oberfläche relativ wenige Steine befinden. Auch ist HP³ so konstruiert, und hat das auch bei Tests vor dem Start bewiesen, dass er kleinere Steine beiseite drücken kann.

Die empfangenen Daten zeigen, dass der Marsmaulwurf weiterhin funktioniert. Daher werden in der Zwischenzeit die ersten Messungen unter der Oberfläche durchgeführt.

Die Mission *InSight* des *NASA-Discovery-Programms* war am 5. Mai 2018 von Kalifornien aus gestartet und am 26. November 2018 auf dem Mars gelandet. Ziel der Mission ist es, das Innere des Mars genauer kennenzulernen und daraus Erkenntnisse über die Entwicklung von Gesteinsplaneten wie auch der Erde zu gewinnen. ●



Das Gehäuse des HP³-Experiments hat sich beim Hämmern auf dem Marsboden leicht bewegt

Nach seiner Aussetzung hatte HP³ begonnen, sich in den Boden zu hämmern, war aber nach circa 30 Zentimetern auf einen Widerstand gestoßen und hatte eine leichte Neigung von 15 Grad eingenommen. Das Wissenschaftlerteam versetzte HP³ daraufhin in einen Pausenmodus. Jetzt müssen sie die Situation analysieren und herausfinden, wie sich der Widerstand überwinden lässt. Eigentlich waren die Forscher nach Analyse von Bildern der Landestelle davon ausgegangen, dass sich unter der

Kein Lebenszeichen mehr von Mars-Rover „Opportunity“

Die Mars-Mission des NASA-Rovers „Opportunity“ ist nach fast 15 Jahren zu Ende: Ein letzter Versuch, das Gefährt am 12. Februar 2019 zu erreichen, scheiterte. Daraufhin beendeten die beteiligten Wissenschaftler der amerikanischen Raumfahrtbehörde am 13. Februar die Mission.

Seit einem heftigen Sandsturm im Juni 2018 reagierte „Opportunity“ nicht mehr. Wie die NASA mitteilte, hatte sie seitdem über 1.000 Mal versucht, den Rover zu erreichen. Durch den Sturm konnten dessen Solarpaneele nicht mehr mit Sonnenlicht versorgt werden. Weil auf der Südhalbkugel des Mars der Winter mit extrem tiefen Temperaturen bevorsteht, wird die Kälte vermutlich irreparable Schäden an Kabeln und Elektronik anrichten und den Rover vollends außer Gefecht setzen. Das letzte Lebenszeichen von „Opportunity“ wurde am 10. Juni 2018 im Raumfahrtzentrum in Pasadena, Kalifornien verzeichnet.

Der kleine Rover erwies sich bis dahin als überaus robust: Für eine Lebenszeit von rund 90 Tagen und eine zu bewältigende Strecke von 1.000 Metern ausgelegt, legte er in fast 15 Jahren eine Strecke von 45 Kilometern zurück und verstummte laut NASA nach so langer Zeit schließlich ausgerechnet an einem Ort mit dem

Namen „Tal der Ausdauer“. Am 7. Juli 2003 war der Roboter zum Mars gestartet, wo er am 25. Januar 2004 landete.

Das rund 185 Kilogramm schwere Gefährt sollte auf dem Mars nach Beweisen für die Existenz von Wasser suchen, die Voraussetzung für die Entstehung von Leben. Gleich an der Landestelle des Rovers fanden die Wissenschaftler ein Mineral, das sich in Wasser bildet. Mit seinen Geräten konnte „Opportunity“ solche Funde analysieren, charakterisieren und fotografieren. Insgesamt lieferte er

mehr als 217.000 Bilder vom roten Planeten zur Erde. Im *Endeavour-Krater* entdeckte der Roboter Beweise für fließendes Wasser, das vor der Entstehung des Kraters wohl neutral in seiner Zusammensetzung und nur leicht säurehaltig war – eine günstige Situation für mikrobielles Leben.

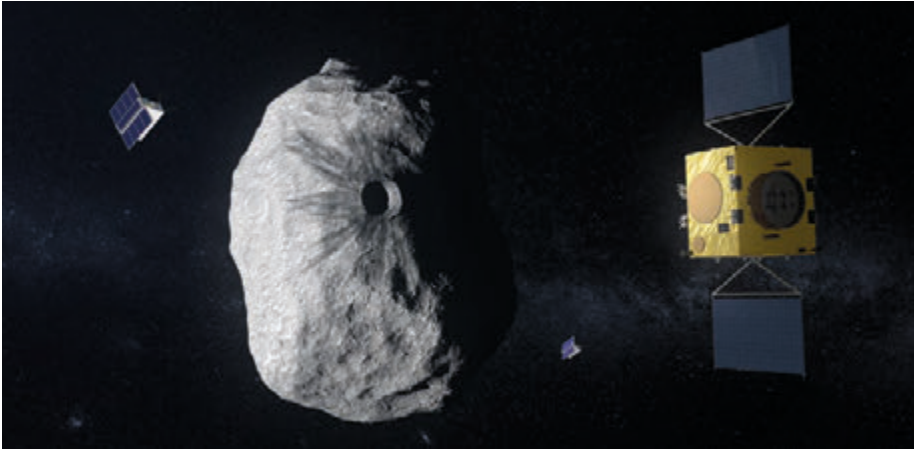
Unter dem Hashtag „#ThanksOppy“ bedankten sich die NASA und zahlreiche Raumfahrtbegeisterte auf Twitter bei „Opportunity“ für seine Arbeit auf dem Mars. ●



„Opportunity“ ist verstummt

ESA plant Asteroidenabwehrmission Hera

Bild: ESA-ScienceOffice.org



Die Hera-Mission soll die Auswirkungen eines künstlichen Einschlags auf einem Asteroiden untersuchen

Die **Europäische Weltraumorganisation ESA** hat für die nächste Ministerratskonferenz die Genehmigung der Asteroidenmission Hera auf ihre Agenda gesetzt. Mit dieser Mission will sie sich an der NASA-Mission **DART (Double Asteroid Redirection Test)** beteiligen, mit der zum ersten Mal eine mögliche Verteidigung der Erde gegen Asteroideneinschläge getestet wird.

Testobjekt soll **Didymos** sein, ein binäres Asteroidensystem, bestehend aus einem größeren Asteroiden mit einem Durchmesser von 780 Metern und einem kleineren

mit einem Durchmesser von gerade einmal 160 Metern. Dem kleineren haben die Forscher den Namen „Didymoon“ gegeben. Die Umlaufzeit von zwölf Stunden, die er braucht, um seinen größeren Zwilling Bruder zu umrunden, kann nach Meinung der Wissenschaftler messbar verändert werden.

Um diese Theorie zu prüfen, wird das Raumfahrzeug **DART** voraussichtlich 2022 versuchen, auf Didymoon aufzuprallen und so seine Umlaufbahn um den größeren Asteroiden zu verändern. Nach dem Aufprall soll die Raumsonde **Hera** die beiden

Asteroiden beobachten und Daten sammeln, zum Beispiel über die Oberflächenbeschaffenheit Didymoons und die Form des DART-Kraters. Diese Informationen sollen dann Aufschluss darüber geben, ob die Technik geeignet ist, einen Asteroiden von seiner Flugbahn abzubringen und ob sie sich auch bei größeren Asteroiden einsetzen lässt.

Didymoon eignet sich besonders gut für diesen Test, da er aufgrund seiner kleinen Größe zu den gefährlichsten erdnahen Asteroiden gehört. Ein solch kleiner Asteroid ist nur schwer zu entdecken, könnte aber trotzdem im Falle eines Einschlags eine ganze Region auf der Erde verwüsten. Größere Asteroiden können leichter entdeckt werden, noch kleinere verglühen bestenfalls bereits in der Erdatmosphäre oder verursachen nur kleinere Schäden. Darüber hinaus soll die Untersuchung des Asteroidenpaars noch andere Erkenntnisse liefern, zum Beispiel darüber, wie solche binären Systeme im All überhaupt entstehen.

Die nächste Ministerratskonferenz, die **Space19+**, findet im **November 2019** in Spanien statt. Der Start der Mission Hera ist dann für 2023 geplant, die Ankunft bei Didymoon für 2026. ●

Erstes europäisches 3D-Druck-Raketentriebwerk getestet

Es ist ein wichtiger Meilenstein auf dem Weg zu wirtschaftlicheren Raketen: Am 18. Februar 2019 hat das **BERTA-Triebwerk (Biergoler Raumtransporttrieb)** am Prüfstand P8 des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Lampoldshausen seinen ersten Testlauf erfolgreich absolviert. Ende 2018 wurde das Triebwerk bei ArianeGroup in Ottobrunn vollständig im 3D-Druckverfahren gefertigt.

BERTA ist für den Betrieb mit lagerfähigen Treibstoffen ausgelegt. Das bedeutet, dass die **Treibstoffe bei Raumtemperatur** gelagert werden können. Triebwerke dieser Art können sehr zuverlässig und mehrfach gezündet werden und eignen sich somit für längere Missionen. Damit können sie nicht nur für den erdnahen Bereich auf kleinen bis mittleren Raketen eingesetzt werden, sondern auch für Missionen über den Erdbereich hinaus.

Ausgelegt für einen Schub von 2,45 Kilonewton lief BERTA am Prüfstand 560 Sekunden lang. Mit den Tests sollen das Strömungsverhalten des Triebwerks sowie der Wärmeübergang bei gedruckten Oberflächen untersucht werden. Entwickelt wurde das Triebwerk im Rahmen der Forschungen für zukünftige europäische Trägersysteme (**Future Launcher Preparatory Programme, FLPP**) der Europäischen Weltraumorganisation ESA. So sollen zum Beispiel auch in den Weiterentwicklungen der Ariane-6-Triebwerke **Vinci** und **Vulcain 3D**-gedruckte Komponenten zum Einsatz kommen.

Durch den **3D-Druck** lassen sich die Produktionszeiten signifikant verringern. Zukünftig könnten vollständige Triebwerke innerhalb weniger Wochen statt wie derzeit in bis zu eineinhalb Jahren geliefert werden. Zudem sind komplexere Struktu-

ren möglich, die sich in konventionellen Verfahren nicht herstellen lassen. So enthält BERTA ein komplexes Design für die Kühlkanäle, das ein verbessertes Kühlverhalten der Brennkammer sicherstellen soll. Damit können Brennkammern zukünftig kompakter gebaut und Material eingespart werden. ●



Der Triebwerksdemonstrator bei der Instrumentierung

Bild: ArianeGroup Holding/Alpensektor

Jubiläumssymposium im Technik Museum Speyer

50 Jahre Mondlandung

Bild: Technik Museum Speyer



Modell von Mondlandefähre und Rover der Apollo-Mission im Technik Museum Speyer

Am 20. Juli 1969, um 21:17 Uhr Mittel-europäischer Zeit, setzte die Mondfähre von **Apollo 11** auf der Mondoberfläche auf. Kurz darauf, es war bereits der 21. Juli, betraten Neil Armstrong und Buzz Aldrin als erste Menschen einen anderen planetaren Körper – ein historischer Augenblick, den hunderte Millionen Menschen auf der Erde vor ihren Fernsehgeräten live miterlebten.

Um das 50-jährige Jubiläum dieses bedeutenden Tages für die Raumfahrt zu feiern, veranstaltet die *Deutsche Gesell-*

schaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR) mit Unterstützung des *Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR)* am 29. Mai 2019 ein Symposium im Technik Museum Speyer. Inmitten Europas größter Raumfahrttausstellung „Apollo and Beyond“ erwartet die Teilnehmer ein volles Programm mit spannenden Vorträgen und Diskussionen. Ehrengast ist an diesem Tag der US-amerikanische Astronaut **Charlie Duke**. Als CapCom der Apollo-11-Mission war Duke die „Stimme am Boden“ und hielt im Kontrollzentrum der NASA in Houston den Kontakt mit den Astronauten auf dem Mond. Als Teil der Apollo-16-Mission wurde Duke im April 1972 der zehnte Mann auf dem Mond und verbrachte drei Tage auf dem Erdtrabanten. Charlie Duke eröffnet das Jubiläumssymposium am 29. Mai mit einem Vortrag zur ersten Mondlandung und nimmt an der Podiumsdiskussion zum Thema „Why Human Exploration of the Moon?“ teil, zu der auch Astronauten der *Europäischen Weltraumorganisation ESA* eingeladen sind. **Johann-Dietrich Wörner**,

Generaldirektor der ESA, wird beim Symposium einen Vortrag zum geplanten „Moon Village“ halten.

Für die **Verpflegung** an diesem Tag fällt für jeden Teilnehmer ein Beitrag von 60 Euro an. Schüler und Studierende zahlen 15 Euro. Die Veranstaltung wird in **englischer Sprache** gehalten. ●

WEITERE INFOS

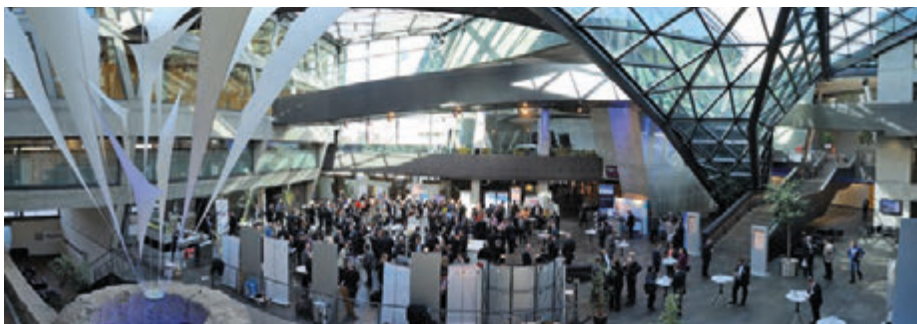
Aktuelle Informationen zum Programm sowie die Möglichkeit zur Anmeldung finden Sie unter 50-jahre-mondlandung.de

Am darauffolgenden Donnerstag, dem 30. Mai 2019, findet im Technik Museum Speyer ein **öffentlicher Publikumstag** zum Mondjubiläum statt, an dem neben Charlie Duke auch ESA-Astronaut Matthias Maurer anwesend sein wird. Informationen hierzu finden Sie unter technik-museum.de

Save the Date

Ende September 2019 startet der 68. DLRK in Darmstadt

Bilder: Darmstadtium



Bereits 2008 war der DLRK im Darmstadtium zu Gast



Das Darmstadtium in Darmstadt

Der *Deutsche Luft- und Raumfahrtkongress (DLRK)* findet in diesem Jahr vom 30. September bis zum 2. Oktober 2019 im Kongresszentrum *Darmstadtium* in Darmstadt statt. An den drei Veranstaltungstagen erwartet die Teilnehmer wieder ein vielfältiges Programm mit Vorträgen, Diskussionen und der Möglichkeit zum Austausch mit Experten aus der gesamten Luft- und Raumfahrtbranche, von der Industrie bis zu den Ministerien, von den Hochschulen über die Forschungseinrichtungen zur Wirtschaft. Ab Juni 2019 bietet sich die Mög-

lichkeit, sich auf der DLRK-Website zum Kongress 2019 anzumelden.

In diesem Jahr haben unter anderem Prof. Dr. Pascale Ehrenfreund, Vorstandsvorsitzende des *Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR)*, Prof. Rolf Henke, Vorstand Luftfahrt des DLR und DGLR-Präsident, **Thomas Jarzombek**, MdB und Koordinator der Bundesregierung für Luft- und Raumfahrt, **Dr. Klaus Richter**, Präsident des *Bundesverbands der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie (BDLI)* sowie **Johann-Dietrich Wörner**,

Generaldirektor der *Europäischen Weltraumorganisation ESA* ihr Kommen angekündigt. Darüber hinaus wird eine Vielzahl an hochrangigen Wissenschaftlern und Experten erwartet. ●

WEITERE INFOS

Aktuelle Informationen zum Programm und die Möglichkeit zur Anmeldung ab Juni 2019 finden Sie unter dlrk2019.dglr.de

We. Create. Space.

www.ohb.de



Space Mining

Bergbau über den Wolken



„Wer in diesen Sektor investieren will, muss sich zuerst einmal fragen, welche Prozesse zum Asteroidenbergbau dazugehören.“

Simon Drake, Space Ventures Investors

Asteroiden, Kometen, Zwergplaneten: Für die einen sind sie übriggebliebene Krümel aus der Kinderstube des Sonnensystems. Andere sehen in ihnen eine **Schatzkammer**, die zu öffnen der Menschheit helfen könnte, sich zu einer interplanetaren Spezies zu entwickeln. In der Science-Fiction-Literatur gehört ihre Ausbeutung zum Standardrepertoire. Doch seit den 1990er Jahren taucht Bergbau im Weltall auch immer wieder in Zukunftsvisionen und Machbarkeitsstudien auf – und in Hochglanzbroschüren wagemutiger Start-ups. Vor gut sechs Jahren schoben sich gleich mehrere Unternehmungen ins Licht der Öffentlichkeit. Ihr Ziel: die Reichtümer des Sonnensystems erschließen und einen neuen Goldrausch lostreten. Wie aber ist es heute um den Bergbau im Weltall bestellt – und wurde 2018 vielleicht sogar zu seinem Schicksalsjahr?

Edelmetalle wie Gold und Platin, so das Kalkül, könnten sich auf fremden Himmelskörpern, wie zum Beispiel erdnahen Asteroiden, schürfen und auf der Erde oder im Orbit mit Gewinn verkaufen lassen. Dass solche Schätze ihre Bahn um die Sonne ziehen, haben Analysen bereits gezeigt. So werden sie auf einigen **M-Asteroiden** (das „M“ steht für metallisch) in Konzentrationen vermutet, die irdische Vorkommen um den Faktor zehn übersteigen. Aber nicht nur Edelmetalle, auch **Industriemetalle** wie Eisen, Nickel oder Titan wecken Begehrlichkeiten. Diese zurück zur Erde zu transportieren, macht wirtschaftlich zwar keinen Sinn. Doch mit ihnen, und da sind sich die Verfechter des Weltraumbergbaus einig, ließe sich der Grundstein für eine **Weltraumindustrie** legen. Wer von Weltraumtourismus, der Besiedlung von Mond und Mars

oder dem Vorstoß in entferntere Regionen des Sonnensystems träumt, muss Baumaterial und Treibstoff im All bereitstellen. All dies von der Erde aus zu starten, hat sich bisher als der größte limitierende Faktor erwiesen.

Goldschürfen auf Felsbrocken

Doch wann lohnt sich Asteroidenbergbau eigentlich? „Um zu bewerten, ob die Investition in den Bergbau auf einem bestimmten Asteroiden überhaupt wirtschaftlich tragbar ist, müssen extrem viele Vorleistungen erbracht werden“, sagt **Kevin Mac Gowan**. Gemeinsam mit **Simon Drake** hat er das Unternehmen **Space Ventures Investors** gegründet. Von Frankfurt am Main aus bringen sie private Raumfahrtunternehmen und risikofreudige Investoren zusammen. Am Rohstoffabbau im Weltall kommen die Space-Commerce-Experten daher nicht vorbei. „Wer in diesen Sektor investieren will, muss sich zuerst einmal fragen, welche Prozesse zum Asteroidenbergbau dazugehören“, erzählt Drake, der im Auftrag des **Copernicus-Masters-Programms** der Europäischen Weltraumorganisation **ESA** als Mentor für Start-up-Unternehmen im Raum Darmstadt tätig ist. „Als erstes müssen die Asteroiden identifiziert werden. Das ist meiner Meinung nach aktuell ein großes Thema. Denn bevor Sie einen Asteroiden besuchen und dort Eis oder Metalle abbauen, müssen Sie diesen sehr genau kennen.“ „Als nächstes“, fährt Mac Gowan fort, „muss der Orbit berechnet werden, gefolgt von der Erkundung vor Ort. Dann erst kann das Grabungsgerät entsandt werden.“

WELCHE ROHSTOFFE LOCKEN?

Edelmetalle haben hervorragende katalytische Eigenschaften. Sie werden in der chemischen Industrie, dem Fahrzeugbau, der Elektro- und Medizintechnik sowie als Schmuck genutzt, sind auf der Erde jedoch äußerst selten.

Seltene Erden sind für die meisten Hightech-Produkte bisher unverzichtbar. Auf der Erde kommen sie häufiger vor als Edelmetalle, ihre Gewinnung ist aber kostspieliger und schadet der Umwelt mehr.

Eisen, Nickel und Titan sind wichtige Baumaterialien für künftige Weltraumprojekte. Sie sind auf der Erde häufig vorhanden, aber ihr Transport in den Weltraum ist sehr teuer.

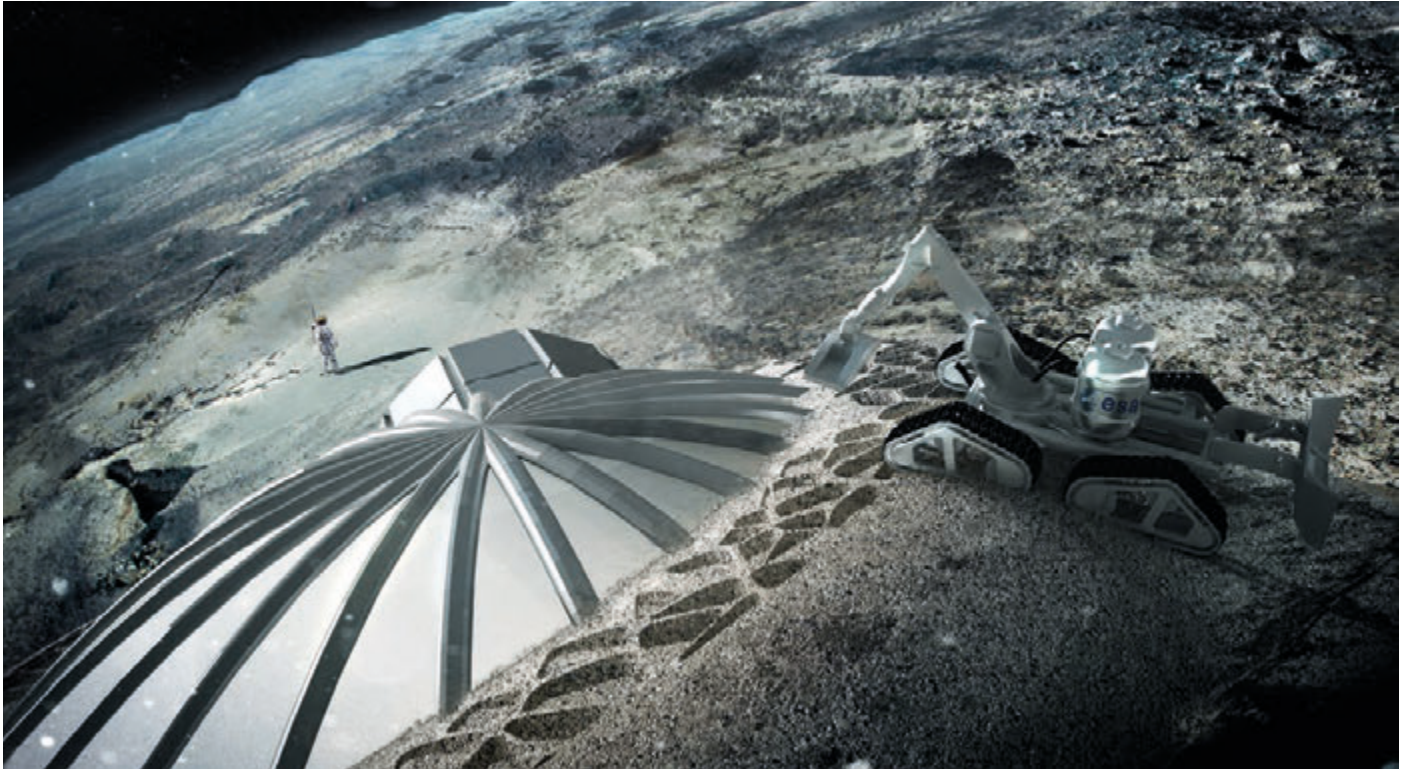
Wasser ist die Schlüsselsubstanz für längerfristige Aktivitäten im Weltall. Es ist zum Beispiel notwendig zur Versorgung der Raumfahrer und als Treibstoff.

Kohlenstoffverbindungen liefern Treibstoff und spielen bei vielen chemischen Prozessen eine Rolle.



Bild: NASA

Bild: ESA



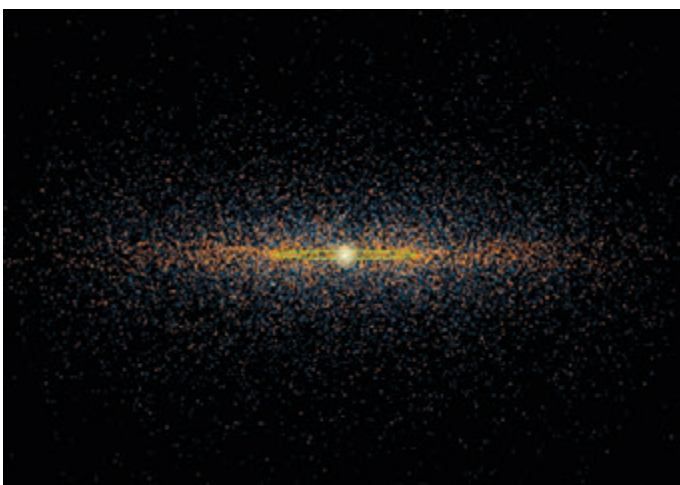
Die ESA plant, ab 2025 Regolith auf dem Mond abzubauen. Daraus könnten Wasser und Sauerstoff für die Versorgung einer geplanten permanenten Mondbasis gewonnen werden. Darüber hinaus möchte die ESA auf die Ressourcen vor Ort zurückgreifen, um im 3D-Druckverfahren Unterkünfte und Labore zu erstellen.

Dass für eine solche Unternehmung der rechte Zeitpunkt gekommen sei, darüber war sich eine namhafte **Investorengruppe** einig, als sie im **April 2012** ihre Pläne enthüllte. Ihr Ziel, so teilte sie Medienvertretern mit, sei nichts Geringeres als ein neues Paradigma für die Nutzung von Weltraumressourcen zu etablieren. Flüchtige Verbindungen, allen voran Wasser, sollten ab sofort im Fokus der Bemühungen stehen; das Schürfen edler Metalle hingegen erst der übernächste Schritt werden. **Planetary Resources** war geboren und sofort in aller Munde. Das lag vor allem an den Investoren selbst. Denn nicht nur Google-Gründer **Larry Page** beteiligte sich am Unternehmen. Auch Starregisseur **James Cameron**, der Gründer der **X-Prize Foundation Peter Diamandis** oder der Weltraumtourist und Informatiker **Charles Simonyi** schienen von der Idee überzeugt.

Bereits drei Jahre vor der großen Enthüllung hatte Diamandis das Unternehmen **Arkyd Astronautics** gegründet, das nun zu **Planetary Resources** wurde. So sollten, noch unter dem Radar, **Arkyd-Weltraumteleskope** entwickelt werden. Als **CubeSat** ausgelegt, sollten diese Teleskope den Himmel nach geeigneten Asteroiden durchmustern. Nach erfolgreicher Fernerkundung würden dann im zweiten Schritt mehrere Sonden im Schwarm zum Objekt der Begierde ausgesandt werden.

Knapp neun Monate nachdem Planetary Resources sein Vorhaben verkündet hatte, trat im **Januar 2013** ein weiterer Spieler in das Rennen um die Rohstoffe im All ein: **Deep Space Industries**. Der Ansatz des Unternehmens aus dem kalifornischen San José ähnelte dem seines Mitbewerbers. Kleine Erkundungssatelliten, **Firefly** genannt, würden Asteroiden im Vorbeiflug ausspähen. Die etwas größeren **Dragonflies** hingegen sollten dann die ersten Proben nehmen und zur Erde transportieren. Auch hier würde im Schwarm geflogen, um etwaige Verluste auszugleichen. Das **Wasser**, auf das beide Unternehmen ein Auge geworfen hatten, sollte als Treibstoff für Satelliten und Raumschiffe im erdnahen Weltraum dienen. Denn Treibstoff von der Erde ins All zu schießen ist teuer. Stünde er hingegen in großen Mengen im Orbit zur Verfügung, so das Kalkül, könnte das nicht nur zur Initialzündung für den Aufbau einer Weltraumindustrie werden. Auch Raumstationen um die Erde oder in der Nähe des Mondes ließen sich auf diese Weise kostengünstig beliefern und könnten damit zur **Tankstelle** für einen Flug zum Mars werden. Deep Space Industries ging bei der Präsentation seiner Pläne sogar noch einen Schritt weiter. Mit 3D-Druckern und extraterrestrischen Metallen sollte der **Bau einer Infrastruktur im Weltall** greifbar werden und Edelmetalle aus dem Sonnensystem würden die Kassen zusätzlich klingeln lassen.

Bild: NASA/JPL-Caltech



Erdnahe Asteroiden könnten die erste Anlaufstelle für das Space Mining sein. Die WISE-Mission (Wide-field Infrared Survey Explorer) der NASA zeichnete 262 dieser Asteroiden auf

Stolpersteine halten Goldrausch auf

Bis allerdings der erste Asteroid tatsächlich „versilbert“ werden kann, müssen nicht nur Erkundung und Abbau funktionieren. Auch ein **Absatzmarkt** sollte zumindest ansatzweise vorhanden sein. Dass sich Ressourcenabbau und Entwicklung einer Weltraumindustrie gegenseitig stützen und anspornen, davon gehen die treibenden Kräfte beim Asteroidenbergbau aus. Deshalb stehen Industriemetalle auch weiter unten auf der Liste. Doch selbst für das **Wasser** beziehungsweise seine Bestandteile werden kurzfristig Kunden benötigt. **Das Kalkül:** Satellitenbetreiber würden die Laufzeit ihrer wertvollen Betriebsmittel durch **Auftanken** verlängern und Weltraumtourismusanbieter könnten ihre Treibstofftanks im Erdorbit auffüllen, bevor sie ihre Kunden auf die Reise um den Mond schicken. Einen kleinen Haken hat der Plan dann aber doch. Die meisten Raumfahrtantriebe greifen aktuell auf **Hydrazin** oder **Xenon** als Treibstoff zurück. Wer Wasser oder dessen Bestandteile im Orbit verkaufen will, muss also erst die entsprechenden **Triebwerke konstruieren**. Eine Aufgabe, der sich Deep Space Industries annahm. Das daraus resultierende elektrothermische Triebwerk **Comet** funktioniert mit Wasser und ist für Kleinsatelliten vom CubeSat bis zum Mikrosatelliten verfügbar.

Es sind aber nicht nur technische Hürden, vor denen der Asteroidenbergbau steht. Brennend ist auch die Frage, **wem** der fremde Himmelskörper und dessen Ressourcen eigentlich **gehören**. Denn ein **Staat** kann **keine Besitzansprüche** stellen, ohne gegen das Völkerrecht zu verstoßen. Ob das auch auf Privatpersonen und Unternehmen zutrifft, ist nicht eindeutig geregelt. Dass sowohl Planetary Resources als auch Deep Space Industries aktiv für eine Regelung eingetreten sind, sollte also nicht verwundern. In den USA war ihre Lobbyarbeit im Jahr 2015 mit Inkrafttreten des **Space Acts** von Erfolg gekrönt. Und auch der luxemburgischen Initiative **Space Resources**, die mit dem Weltraumressourcengesetz 2017 einen ersten europäischen Vorstoß erreichte, gehörten die beiden Unternehmen an.

Bild: NASA



Als erster Schritt müssten Proben von den Asteroiden genommen werden, um die Zusammensetzung der Steine zu bestimmen

WEM GEHÖREN DIE SCHÄTZE IM ALL?

Der **Weltraumvertrag** aus dem Jahr 1967 soll nicht nur verhindern, dass einzelne Staaten einen Himmelskörper in Besitz nehmen, er soll auch jegliche militärische Nutzung, insbesondere die Stationierung von Atomwaffen im All, verhindern. Bis heute haben **107 Staaten** den Vertrag ratifiziert. Ob **private Unternehmen** kommerziellen Bergbau im All betreiben dürfen, ist **nicht explizit geregelt** und wird je nach Interessenlage unterschiedlich ausgelegt.

Diesen Missstand sollte der **Mondvertrag** aus dem Jahr 1979 beheben. Unter dessen Regelungen fallen neben Staaten auch Privatleute und Unternehmen. Kern des Vertrags ist die **Nutzung der Ressourcen zum Wohle der gesamten Menschheit**. Jeglicher kommerzielle Bergbau müsste demnach von der UNO und ihrem Generalsekretär genehmigt werden. Dass sich vor allem die Raumfahrtnationen auf eine solche Regelung nicht einlassen würden, war aus heutiger Sicht eigentlich zu erwarten. Lediglich **21 Staaten** der Weltgemeinschaft setzten ihre Unterschrift unter das Werk, 17 von ihnen ratifizierten es dann auch noch.

Als heftigster Gegner einer gerechten Verteilung der Ressourcen des Sonnensystems beschlossen die **USA** im Jahre 2015 ihr eigenes Weltraumgesetz, den **Space Act of 2015**. Es **erlaubt US-Bürgern die kommerzielle Ausbeutung** extraterrestrischer Ressourcen. Eine Inbesitznahme eines Himmelskörpers durch die Vereinigten Staaten soll es nach dem Gesetz aber nicht geben. Vor allem **Planetary Resources** und **Deep Space Industries** waren mit Lobbyarbeit am Gesetz beteiligt. Inwieweit der Space Act den Weltraumvertrag verletzt, ist nicht abschließend geklärt.

Was den USA recht ist, sei **Luxemburg** billig. Denn das Land verabschiedete im Jahr 2017 sein **eigenes Gesetz** über die Erforschung und Nutzung von Weltraumressourcen. Mit diesem Weltraumressourcengesetz regelt das Großherzogtum, wie mit den Rohstoffen im All umgegangen werden darf. Nur Unternehmen nach luxemburgischem Recht oder solche mit einem Sitz im europäischen Kleinstaat bekommen von diesem eine Genehmigung. Vorangetrieben hatte das Gesetz die Regierungsinitiative **Space Resources**. Zu diesem Verbund gehören auch **Planetary Resources** und **Deep Space Industries**. Auch hier gibt es unterschiedliche Auffassungen darüber, ob das Gesetz mit dem Völkerrecht vereinbar ist.

Ein nationales **Weltraumgesetz für Deutschland** fordert unter anderem der **Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI)** in einem Positionspapier aus dem Jahr 2018. Davon sollte nicht nur die deutsche NewSpace-Startup-Szene, sondern auch der traditionsreiche Maschinen- und Anlagenbau, allen voran die Bergbauausrüster, profitieren.

Technische Herausforderungen lösen, neue Märkte aufbauen, Rechtsgrundlagen schaffen – damit die kühnen Pläne vom Asteroidenbergbau Wirklichkeit werden können, ist aber vor allem eines essenziell: jede Menge **Geld**. Das spürte auch Planetary Resources. Nachdem bereits 2017 eine Finanzierungsrunde scheiterte, folgte erst der Personalabbau und 2018 die Übernahme durch das Blockchain-Unternehmen **ConsensSys**. Das hat mit Raumfahrtaktivitäten bisher wenig zu tun und baut selbst gerade Personal ab. Ob von dieser Seite noch Engagement im Weltraumbergbau kommt, bleibt abzuwarten. Doch auch für Deep Space Industries ist 2018 zum Schicksalsjahr geworden.

Der zweite große Name im Run auf die Ressourcen des Sonnensystems ist seit dem 1. Januar 2019 Teil der **Bradford Space Inc.** Besonders die Comet-Antriebe passen gut ins Portfolio des Raumfahrtunternehmens mit Niederlassungen in den USA, den Niederlanden und Schweden. Dass der Asteroidenbergbau zumindest langfristig ein Ziel sein könnte, schloss der neue Eigentümer von Deep Space Industries in einer Erklärung zur Übernahme zwar nicht aus, doch wolle man die Dinge Schritt für Schritt angehen.

Der Mond als Brückenkopf ins All

Doch auch wenn prominente Milliardäre aktuell kein Geld in großem Stil in den Bergbau im Weltall fließen lassen, institutionelle Anleger zögern und Industrieunternehmen abwarten, scheint der Reiz einer Weltraumindustrie langsam auch Europa zu erreichen. „Wir beobachten den Markt sehr genau“, sagt der Space-Commerce-Experte **Mac Gowan**. „Zwar ist es nach wie vor nicht einfach, in Europa Investoren für den Space-Commerce-Bereich zu finden. Doch hier scheint aktuell vor allem im privaten Investitionsfeld Bewegung in den Markt zu kommen.“ Dazu hat Space Ventures Investors erst Ende 2018 eine Umfrage im Umfeld von rund **130 Privatinvestoren** durchgeführt und analysiert. „Die Bereitschaft, in kommerzielle Satelliten aber auch in

Asteroid Mining zu investieren, steigt zunehmend“, fasst Mac Gowan das Ergebnis zusammen. „Ein Großteil der Befragten war dazu bereit, 20.000 Euro oder mehr in Aktien von Unternehmen aus diesen Bereichen zu investieren.“ „Rund 50 Prozent“, geht Drake ins Detail, „hätten dabei auch keine Scheu vor langfristigen und riskanten Unternehmungen wie dem Asteroidenbergbau, während die andere Hälfte der Teilnehmer an unserer Befragung sich für Space Commerce generell interessieren.“

Dass dies nicht immer so war, bekam ein anderer Teilnehmer des Weltraummonopolys zu spüren: die **Shackleton Energy Company**. Das Unternehmen wurde 2008 in Del Valle, Texas, gegründet und wollte ganz im Geiste großer Entdecker wie Lewis und Clark, Edmund Hillary und natürlich Namenspate Ernest Shackleton zu neuen Grenzen aufbrechen. Genau fünfzig Jahre nach der ersten **Mondlandung** sollten 2019 wieder Entdecker einen Fuß auf den Erdtrabanten setzen. Der Schatz, den sie dort zu bergen hofften, war **Wassereis**. Das, so der Plan, ließe sich in seine Bestandteile spalten und damit eine Tankstelle im niedrigen Erdbit betreiben. Wären Sauerstoff, Frischwasser und Treibstoff erstmal in ausreichenden Mengen und zu günstigen Preisen im All verfügbar, würde die Nutzung des Weltraums attraktiver werden. Etwa 25 Milliarden US-Dollar veranschlagte Firmengründer und Geschäftsführer **William „Bill“ Stone**. Mit **Crowdfunding** sollte das Projekt angeschoben werden. Doch von den erhofften 1,2 Millionen US-Dollar kamen nur 5.517 zusammen.

Dabei hat die Idee einiges für sich. Denn selbst wenn einige Asteroiden einfacher zu erreichen sind, ist der **Mond** doch „psychologisch näher“. Auch die Experten von Space Ventures Investors sind sich einig: „Wir haben ja bei der Rosetta-Mission gesehen, dass eine Asteroidenlandung keine einfache Sache ist. Glückt sie, hat das schon historische Dimensionen. Dort jetzt auch noch Bergbau zu betreiben, ist ein Schritt, den man sicherlich in den nächsten 15 bis 25 Jahren realisieren kann. Ein viel naheliegenderes Objekt ist da der Mond“, sagt Mac Gowan. „Der kommt noch vor den Asteroiden“, nimmt Drake



Kevin Mac Gowan



Simon Drake

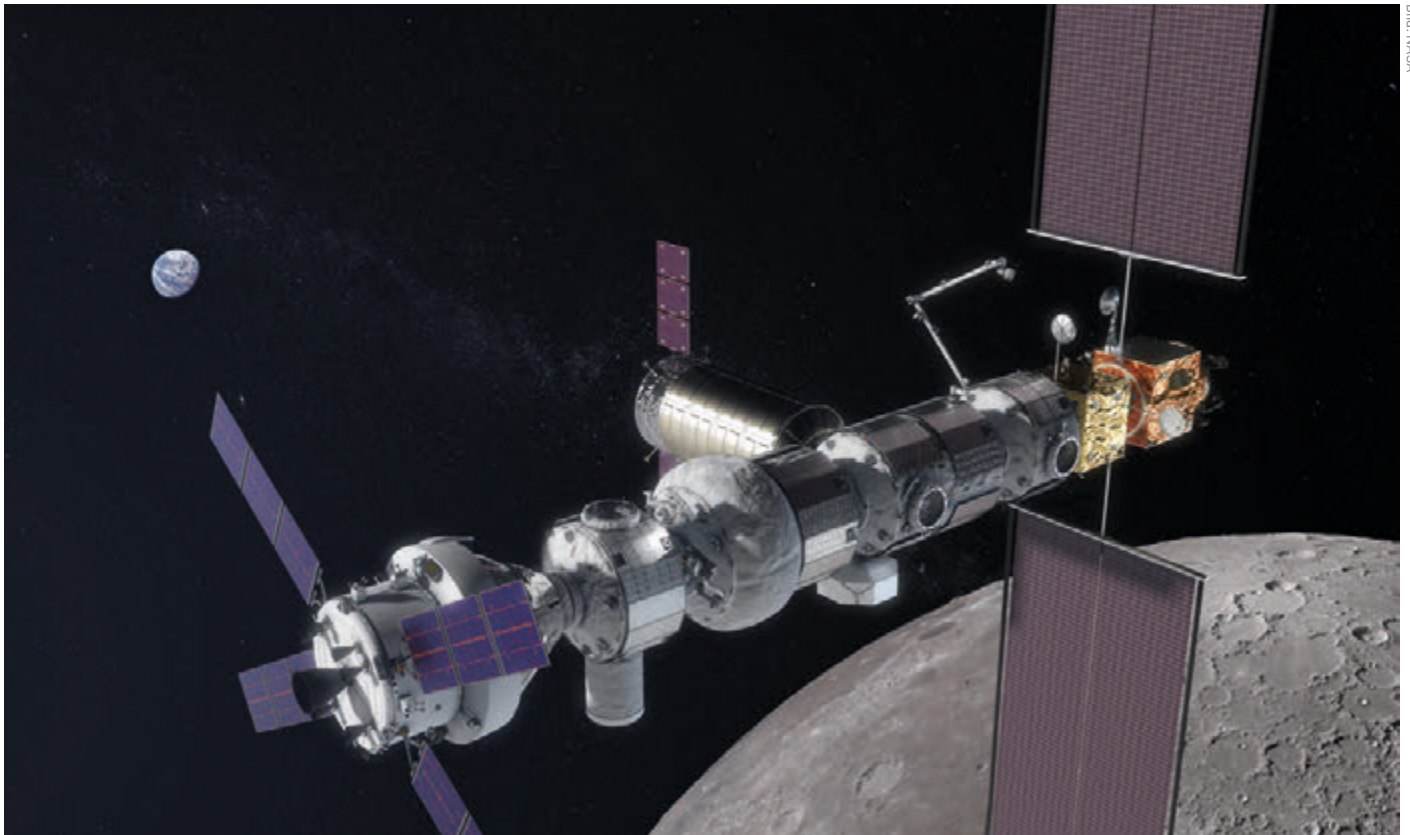


Bild: NASA

Lunar Orbital Platform Gateway ist eine von den USA, Russland und weiteren Staaten geplante Raumstation, die zusammen mit dem Mond die Erde umkreisen soll. In einem der beiden Lagrange-Punkte von Erde und Mond könnte sich die Station jahrelang nahezu antriebslos aufhalten.

den Faden auf. „Er ist schnell zu erreichen. Erst die Sowjetunion, dann die Amerikaner, später Japan, China und auch Indien – alle haben Sonden zum Mond geschickt, auch, um dort nach Wassereis zu suchen.“ „Deshalb“, führt Mac Gowan den Gedanken weiter, „wird dieser Bereich des Weltraumbergbaus aktuell auch sehr stark diskutiert.“

Besonders vor dem Hintergrund des **Lunar Orbital Platform Gateway** wird die Idee plötzlich wieder greifbar. Die früher als **Deep Space Gateway** bekannte Station soll ab 2022 zum **Außenposten der Menschheit im Mondorbit** werden. Neben der amerikanischen Weltraumbehörde NASA wollen sich auch Roskosmos, ESA, JAXA und die kanadische CAS beteiligen. Dort könnten dann nicht nur Technologien erprobt und Raumfahrer auf einen Flug zum Mars vorbereitet, sondern auch auf dem Mond gewonnener Treibstoff zwischengelagert werden.

War die Vision, in wenigen Jahren eine florierende Industrie im Weltraum zu errichten, zu ambitioniert? Schon möglich. War der Hype der Jahre 2012 und 2013 deshalb unnützlich? Nicht unbedingt. Denn Wissenschaft und Technik haben auf jeden Fall gewonnen. Und dann ist da natürlich noch die Einsicht, dass der Griff nach den Sternen sich eher als Marathonlauf denn als Sprint erweist und manche Teilnehmer eben auf der Strecke bleiben. ●

Kai Dürfeld
Wissenschafts- und Technikjournalist

PARYLENE

REAL CONFORMAL COATING

HEICKS PREMIUM EMS:

Höchste Funktionssicherheit für Baugruppen durch das HEICKS Parylene Konzept...

- Entwicklung
- SMD/THT Bestückung
- Montage
- Reinigung
- Beschichtung
- AOI/ICT/FKT
- Luftfahrt
- Industrie
- Automotive
- Medizin
- E-Mobility



Zertifiziert nach
EN 9100:2018

Tel.: 0 29 42/9 79 26-0
59590 Geseke, Germany
info@heicks.de · www.heicks.de

Anzeige

Internationale Fusionen in der Luftfahrt

Ein neuer Trend in der Luftfahrtindustrie?



Am 1. Juli 2018 übernahm Airbus offiziell die Mehrheit an der C Series von Bombardier, kurz danach verkündete Boeing, die Zivilflugsparte von Embraer zu kaufen: Das Jahr 2018 war ein Jahr der internationalen Fusionen in der Luftfahrtindustrie.

Ursprünglich war es für das Ende des Jahres geplant, doch dann ging alles ganz schnell: Seit dem Sommer 2018 hält der europäische Konzern Airbus 50,01 Prozent der C Series des kanadischen Flugzeugherstellers Bombardier. 34 Prozent behält Bombardier, die restlichen 16 Prozent gehören Investissement Québec, einer staatlichen Investmentgesellschaft.

Die C Series ist das modernste Flugzeugprogramm im Segment der 100- bis 150-Sitzer. Entwickelt wurde sie von Bombardier. Nachdem das Unternehmen zunächst Schneemobile und später auch Militär- und Schienenfahrzeuge herstellte, stieg es mit der Übernahme des staatlichen Flugzeugherstellers Canadair 1986 als Bombardier Aerospace in den Flugzeugbau ein. Mit Airbus, Boeing und Embraer zählt Bombardier Aerospace zu den größten Flugzeugherstellern und produziert an vielen Standorten weltweit Regionalverkehrsflugzeuge sowie Business Jets.

Das Konzept einer neuen Modellfamilie namens C Series stellte Bombardier erstmals am 15. März 2005 offiziell vor. Den Fluggesellschaften waren die alten Canadair Regional Jets (CRJ) angesichts steigender Spritpreise zu teuer geworden. Erst 2008 fand sich mit Lufthansa eine erste Fluggesellschaft, die Interesse an der C Series hatte. Erstabnehmerin sollte die Lufthansa-Tochter Swiss werden.

Die Übergabe musste während der Entwicklungszeit jedoch mehrmals verschoben werden, unter anderem weil am 29. Mai 2014 während eines Testprogramms am Boden eines der neuen Triebwerke explodierte. Die teure Entwicklung brachte Bombardier in solch finanzielle Schwierigkeiten, dass die Regierung der kanadischen Provinz Québec im Oktober 2015 für eine Milliarde Dollar knapp die Hälfte des C-Series-Programms kaufte. Am 4. Juli 2016 konnte schließlich das erste Exemplar der C Series an Swiss übergeben werden.

In den USA versuchte Konkurrent Boeing, den Eintritt des kanadischen Flugzeugbauers in den US-amerikanischen Markt zu verhindern. Boeing warf Bombardier unfares Wettbewerbsverhalten vor, weil die Kanadier bis zu 125 CS100 zu angeblichen



Bild: Embraer

Noch in diesem Jahr soll der Deal zwischen Boeing und Embraer vollzogen werden

Dumpingpreisen an die amerikanische Fluggesellschaft Delta Airlines verkauft und das Programm zugleich mit kanadischen Staatshilfen finanziert hätten. Ganz nach seinem Wahlkampf-motto „America First“ unterstützte US-Präsident Donald Trump die Beschwerde und kündigte hohe Einfuhrzölle von 200 bis 300 Prozent an. Doch die Kommission für internationalen Handel der Vereinigten Staaten (USITC) untersagte die Strafzölle. Die gerichtssähnliche US-Bundesbehörde entschied, Boeing habe keinen plausiblen Schaden durch kanadische Staatshilfen für das Programm nachweisen können. Im Juli 2018 folgte dann die Partnerschaft zwischen Airbus, Bombardier und Investissement Québec. Damit wollen die Eigentümer das volle Potenzial der C Series ausschöpfen und einen Mehrwert für Kunden, Zulieferer, Mitarbeiter, Aktionäre sowie die Kommunen an den jeweiligen Produktionsstandorten schaffen.

Kurz nach der Übernahme nannte Airbus die C Series in „A220“ um, angelehnt an den Verkaufsschlager A320. Am 10. Juli 2018 landete in Toulouse erstmals ein Flieger mit der neuen Lackierung. „Wir sind begeistert, heute die A220 in der Airbus-Familie zu begrüßen“, freute sich der damalige Verkehrsflugzeugchef Guillaume Faury, der im April 2019 die Nachfolge des deutschen Konzernchefs Tom Enders antreten soll. Mit der Übernahme konnte Airbus seine Produktpalette im Segment kleinerer Mittelstreckenjets ergänzen, ohne selbst Geld in die Entwicklung zu investieren. Damit ist Airbus seinem größten Konkurrenten Boeing zumindest in diesem Segment eine Nasenlänge voraus. Das US-Unternehmen bietet keine Maschine in dieser Sparte an – noch nicht.

Die Nachfrage in dem Marktsegment schätzen die Partner in den nächsten 20 Jahren auf 6.000 neue Flugzeuge. Deswegen, aber auch um mögliche Zölle zu umgehen, errichteten sie eine zweite Endmontagelinie in Mobile, Alabama, zur Belieferung von US-Kunden. Hauptsitz der Partnerschaft und Haupt-Endmontagelinie bleiben in Mirabel im kanadischen Québec.

Der Airbus A220 wird in zwei Versionen angeboten, der A220-100 für 108 bis 135 Passagiere und der A220-300 für 130 bis 165 Passagiere. Durch die großzügig dimensionierte Kabine soll ein für diese Flugzeugklasse hohes Komfortniveau erreicht werden – Armfreiheit, Kabinenfenstergröße und neue Beleuchtungstechniken werden von Bombardier als wesentliche Merkmale genannt.



Bild: Airbus S.A.S.

Die Entwicklung der C Series brachte Bombardier in finanzielle Schwierigkeiten



Bild: Airbus 2017 – P. Pigevre / master films

V. l. n. r.: Pierre Beaudoin, Bombardier Chairman of the board; Tom Enders, Airbus CEO (bis April 2019); Alain Bellemare, Bombardier Präsident und CEO; Fabrice Brégier, Airbus COO und Präsident von Airbus Commercial Aircraft

Die Rumpfbreite erlaubt maximal fünf Sitze pro Reihe. Die A220-300 hat einen **Listenpreis von 91,5 Millionen US-Dollar** – zum Vergleich: Der durchschnittliche Listenpreis für die A320 beträgt 101 Millionen US-Dollar. Im November 2018 belief sich der Auftragsbestand auf über 400 Flugzeuge.

Auslöser für die nächste Fusion

Nur kurze Zeit nach der Airbus-Übernahme der C Series verkündete der US-amerikanische Konkurrent **Boeing**, Anfang 2019 die Mehrheit eines **Joint-Ventures** mit der Zivillflugzeugsparte des brasilianischen Flugzeugbauers **Embraer** übernehmen zu wollen. Beide Produzenten teilten mit, ein Gemeinschaftsunternehmen im Wert von rund 4,1 Milliarden Euro zu gründen. Boeing soll dabei eine Mehrheit von 80 Prozent halten und die Sparten Geschäftsentwicklung, Produktion und Marketing übernehmen. Mit den restlichen 20 Prozent wäre Embraer für die Verkehrsflugzeug- und Service-Sparte zuständig. Die Kleinflugzeug-, Rüstungs- und Sicherheitsparten des brasilianischen Unternehmens würden nicht in das geplante Joint Venture mit eingebracht.

Im **Regionalflugzeugsegment** mit rund 100 Sitzen ist Boeing nach dem Ende der 717 im Jahr 2006 nicht mehr vertreten. Der Zukauf soll die US-Amerikaner im Kampf mit Airbus um die Vormacht im weltweiten Flugzeugmarkt stärken. Für die Embraer-Flugzeuge könnten sich durch den Zugang zum Boeing-Vertriebsnetz neue Absatzchancen eröffnen. Das wäre ein wichtiger Vorteil für Embraer, um sich gegen die Konkurrenten am Markt für Regionalflugzeuge und die aufstrebenden Wettbewerber zum Beispiel aus China zu behaupten. Embraer ist spezialisiert auf Mittelstreckenflugzeuge mit 70 bis 100 Sitzen, die weltweit von regional tätigen Airlines eingesetzt werden. Die Brasilianer produzieren sowohl für den zivilen als auch für den militärischen Sektor und sind einer der größten Exporteure des Landes.

Standort des neuen Joint Ventures soll der Hauptsitz von Embraer in der brasilianischen Stadt *São José dos Campos* bei São Paulo sein. Es soll von einem **eigenen Vorstandschef** geleitet werden, der direkt Boeing-Konzernchef **Dennis Muilenburg** unterstellt ist. Der Deal soll im Laufe des Jahres 2019 vollzogen werden. Im Dezember 2018 stoppte ein Bundesrichter aus São Paulo die-

sen zunächst per Einstweiliger Verfügung. Die Genehmigung sollte laut des Richters der künftigen brasilianischen Regierung überlassen werden, die am 1. Januar 2019 ihre Arbeit aufnahm. Die Regierung besitzt wegen der strategischen Bedeutung von Embraer und der wichtigen Rolle seiner militärischen Sparte für die brasilianische Rüstungsindustrie eine sogenannte **Goldene Aktie** mit Vetorecht. Brasiliens Staatspräsident **Jair Bolsonaro** kündigte jedoch an, seine Regierung werde kein Veto gegen das Geschäft einlegen. Noch in diesem Jahr soll der Deal vollzogen werden.

Ein neuer Trend für die Luftfahrtindustrie?

Den Einstieg von Boeing in die Zivillflugsparte von Embraer schätzen manche Experten als direkte Reaktion auf den Airbus-Deal mit Bombardier ein und erwarten **weitreichende Folgen** für die Luftfahrtindustrie. Immerhin reduziert sich durch die Zusammenführungen die Zahl der großen Anbieter von kommerziell genutzten Flugzeugen von vier auf zwei. Dieser Trend zeichnet sich bereits seit den 1960er Jahren ab: Bis dahin verfolgten in Europa Frankreich, Deutschland und Großbritannien ihre eigenen Zivillflugzeugprogramme. Dann schlossen sie sich zum Airbus-Konsortium zusammen und erhofften sich größere Chancen gegen die amerikanischen Konkurrenten Boeing, Douglas und Lockheed. Kleinere Flugzeughersteller wie *Fokker* oder *Dornier* verschwanden um die Jahrtausendwende vom Markt und auch *British Aerospace* (heute *BAE Systems*) baut seit dem Ende der *BAe146* (später *Avro RJ100*) keine Regionalflugzeuge mehr.

Zuletzt hatten sich Bombardier und Embraer im Rennen um die größeren Marktanteile bei kleineren Jets mit 70 bis 100 Sitzen jahrzehntelang ein Duell geliefert. Airbus und Boeing erweitern mit den Deals ihre Produktpalette um die kleineren Maschinen und festigen ihre Macht auf dem weltweiten Flugzeugmarkt. Konkurrenz aus Russland oder China scheinen die beiden Konzerne vorerst nicht befürchten zu müssen. Laut dem *Institut der deutschen Wirtschaft (IW)* findet der russische Regionalflieger *Superjet 100* im internationalen Markt kaum Kunden. Auch die größeren Maschinen Irkut MS-21 aus Russland sowie C919 aus China hätten keine guten Chancen. Der Grund für das geringe Vertrauen der Fluggesellschaften in die neuen Hersteller seien vor allem Verzögerungen in Entwicklung und Fertigung.

Ein **Duopol** von Airbus und Boeing, so fürchtet das IW, könnte für Fluggesellschaften und Passagiere **teuer** werden. Angesichts voller Auftragsbücher bei beiden Herstellern gebe es wenig Anlass, die Preise zu reduzieren und die Kunden an Effizienzgewinnen durch die Fertigung immer größerer Stückzahlen bei schon eingespielten Entwicklungskosten teilhaben zu lassen. Andererseits gebe es traditionell einen heftigen **Wettkampf um Großaufträge** von Airlines und Leasinggesellschaften, die hohe Mengenrabatte auf den Listenpreis erhalten. Die Misserfolge der Konkurrenten würden zeigen, dass die Fluggesellschaften Airbus und Boeing die Stange halten – auch wenn sie Jahre warten müssten und chinesische oder russische Modelle zu einem günstigeren Preis bekämen. Eine hohe Zuverlässigkeit der Maschinen sei für die Airlines offenbar wichtiger als der Preis. ●

Caroline Latz

Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR)

Interview mit Florent Massou, Leiter des A220-Programms bei Airbus

„Ein starker Wettbewerb ist für alle Beteiligten gut“

Herr Massou, seit der Übernahme der C Series von Bombardier durch Airbus und der Umbenennung in Airbus A220 im Juli 2018 lagen bis Ende 2018 für die 100er-Version 83 und für das größere 300er-Modell 449 Bestellungen vor. In Alabama ist eine neue Produktionslinie geplant. Wie sehen Sie die Entwicklung der Reihe seit der Übernahme durch Airbus?

Wir haben derzeit ein **gut gefülltes Auftragsbuch** mit mehr als 530 Flugzeugen für 19 Kunden. Zuletzt wurden weitere 15 Aufträge für *Delta* (Auftragsbestand jetzt 90), 60 für *JetBlue* und 60 für die neu gegründete Fluggesellschaft *Moxy* bekannt gegeben. Für 2019 sind 45 A220-Auslieferungen anvisiert.

Wir werden den **Fertigungshochlauf** weiter fortsetzen: Die **Final Assembly Line (FAL)** in *Mobile*, Alabama, nimmt Mitte 2019 die Produktion auf. Mit einer Rate von durchschnittlich vier Flugzeugen pro Monat werden wir unsere maximale Kapazität Mitte des nächsten Jahrzehnts erreichen. Auch in *Mirabel* in Kanada erhöhen wir die Fertigung, sodass wir hier unsere maximale Kapazität mit einer Rate von durchschnittlich zehn Flugzeugen pro Monat kurz vor 2025 erreichen werden.

Grund für diese Entwicklung ist unter anderem ein **hochflexibles Fertigungssystem** in den beiden A220-Endlinien *Mirabel* und *Mobile*. Dabei profitiert der Standort *Mobile* von den Erfahrungen und Synergien mit *Mirabel*. So wird zum Beispiel auch in Alabama ab 2020 im Serientakt gefertigt.



Bild: Airbus photo by Flanccot

Der neue Airbus A220-300

Außerdem arbeiten wir an der **Reduzierung** unserer **Kosten**. Wir führen bereits Gespräche mit unseren Kunden und sind dabei, Tools und Prozesse einzuführen, um hier effizienter zu werden und unsere Fertigungsstunden zu reduzieren. Auch unsere Zulieferer müssen termin- und qualitätsgerecht liefern.

Wie passt die A220 in das Airbus-Portfolio?

Die A220 ist **das einzige Flugzeug**, das speziell für den Markt der kleinen **Single-Aisle-Flugzeuge** (100 bis 150 Sitze) entwickelt wurde und stellt eine ideale Ergänzung zur A320-Familie dar. Ein Flugzeug der Größe der A220 zeichnet sich durch einen **höheren Ertrag pro Fluggast** und ein **besseres Flugerlebnis** für die Passagiere aus: Es hat die geräumigste Kabine seiner Klasse und bietet die breitesten Economy-Class-Sitze aller Single-Aisle-Flugzeuge. Die A220 verbraucht 20 Prozent **weniger Kraftstoff** pro Sitz im Vergleich zu Flugzeugen der heutigen Generation und stellt ihre vielseitigen Einsatzmöglichkeiten auf Regional- ebenso wie auf Langstreckenflügen unter Beweis.

Wir werden den wirtschaftlichen Erfolg der A220 erheblich beschleunigen und sicherstellen, dass das volle Potenzial dieser bahnbrechenden Flugzeuge weltweit zum Tragen kommt.

Der zukünftige Airbus-CEO Guillaume Faury hat eine größere Variante der A220 mit dem potenziellen Namen A220-500 ins Spiel gebracht. Solche Überlegungen hatte es schon zu Zeiten der C Series bei Bombardier gegeben, doch damals fehlten die finanziellen Mittel für eine Weiterentwicklung. Wie ist der aktuelle Stand zur

Entwicklung einer größeren Variante und was verspricht sich Airbus davon? Wäre das eine Konkurrenz zur A320neo?

Die Plattform hat das Potenzial für eine Weiterentwicklung, doch der Produktionshochlauf und der Vertrieb unserer Bauplätze -100 und -300 sowie die Unterstützung unserer Kunden bei der Indienststellung stehen für uns derzeit im Vordergrund.

Die beiden Produkte bieten den Airlines unterschiedliche Lösungen. Eine Fluggesellschaft, die bereits A320-Betreiber ist, könnte sich zum Beispiel für A319-Maschinen entscheiden, um in ihrer gesamten Flotte von der Ähnlichkeit innerhalb der A320-Familie, zu profitieren. Außerdem weist die A319 eine bessere Leistungsfähigkeit bei Starts und Landungen bei heißen Außentemperaturen und in großer Höhe auf und hat eine größere Reichweite als die A220-300.

Kurz nach der Übernahme der C Series durch Airbus ist Boeing in die Zivilfluggesellschaft von Embraer eingestiegen. Experten sehen dies als direkte Reaktion auf den Airbus-Deal mit Bombardier und erwarten weitreichende Folgen für die Luftfahrtindustrie. Wie beurteilen Sie den Trend der Konsolidierung?

Airbus befürwortet einen starken und gesunden Wettbewerb, der für alle Beteiligten und auch für unsere Kunden gut ist. Der Boeing-Einstieg bestätigt, dass Airbus mit der A220-Partnerschaft richtig und rechtzeitig gehandelt hat und dem Wettbewerb einen Schritt voraus war. ●

Wir bedanken uns bei Florent Massou für das Interview.

Bild: Airbus



Florent Massou

Ballon, Hubschrauber oder Flugzeug?

h-aero, ein Hybrid in jeder Hinsicht



Ballons steigen schnell auf, kommen aber nur langsam vorwärts und sind stark auf den Wind angewiesen. Hubschrauber steigen ebenfalls schnell und auf kleinem Raum auf, benötigen aber sehr viel Energie – insbesondere im Flächenflug. Flugzeuge sind besser für den Flächenflug geeignet, brauchen aber eine geeignete Startbahn. All diese Konzepte haben ihre Vor- und Nachteile. „Warum nicht versuchen, die Vorteile zu kombinieren?“, hat sich ein kleines Unternehmen aus Baden-Baden gefragt und ein völlig neues Fluggerät entwickelt, das von allem etwas bietet. Das Hybridflugzeug *h-aero* kombiniert die drei bekannten Konzepte so, dass ein neues Fluggerät entsteht. Bei diesem bleiben die Vorteile der bekannten Systeme erhalten, während Nachteile durch eine synergetische Anordnung der Komponenten überwunden werden: Statt den Auftrieb rein dynamisch zu erzeugen, nutzt der *h-aero* zusätzlich den statischen Auftrieb durch eine elliptische Heliumblase. Dadurch ist er so energieeffizient wie Zeppeline oder Ballons und gleichzeitig so agil wie Multikopter oder Flugzeuge. Er bewegt sich wie ein Flugzeug, kann aber vertikal starten und landen. Durch die Hybridlösung hat der *h-aero* außerdem eine größere Reichweite als reine Elektroflugzeuge. Dabei kann er seine Antriebsenergie vollständig aus erneuerbaren Energien beziehen.

Entwickelt wurde der *h-aero* von der *Hybrid-Airplane Technologies GmbH*, einem Spin-off der *Universität Stuttgart*. Das Unternehmen wurde 2016 im Rahmen der Gründungsförderung *EXIST* des *Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi)* gegründet. Vorarbeiten erfolgten im Zusammenhang diverser Forschungsprojekte an der Universität Stuttgart (Solarluftschiff *Lotte* und Höhenplattform *Airchain*), mit dem *Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt* (Lastenheft zum Prototypenbau der *h-aero*-Flugsysteme, Solarforschung), dem *Jet Propulsion Laboratory (JPL)* der *NASA* am *Caltech* und der *University of Arizona* (Nutzlast zur Lebensdetektion auf dem Mars). Das **Patent** für den *h-aero* meldete **Csaba Singer**, der an der Universität Stuttgart Luft- und Raumfahrttechnik studiert hat, bereits 2006 an. Gemeinsam mit seinem Mitgründer **Christian Schultze** und seinem Team entwickelte er inzwischen drei unterschiedliche Modelle des *h-aero*: den *zero*, *zero+* und den *one*. Letzterer kann drei Kilogramm über fünf Stunden transportieren. Eine am Markt bislang unerreichte Flugdauer und Nutzlast neben dem *Airbus Zephyr*.



Bild: Hybrid-Airplane Technologies GmbH

Der *h-aero* vereint die drei Flugkonzepte von Flugzeug, Hubschrauber und Ballon miteinander

Ein linsenförmiger Heliumballon

Schon das **Aussehen** des *h-aero* ist neu: An der rotationssymmetrischen linsenförmigen Hülle sind seitlich zwei Flügel mit vollsymmetrischem Flügelprofil angebracht. Sie sind so aufgebaut, dass sie sich unabhängig voneinander um 360 Grad drehen lassen. Dadurch kann das Hybridflugzeug sowohl eine rotationssymmetrische – wie beim Hubschrauber – als auch eine spiegelsymmetrische – wie beim Flugzeug – Konfiguration einnehmen. Die Fläche des Körpers sorgt im Vorwärtsflug wie bei einem Nurflügler für einen erhöhten Auftrieb und ist dabei ähnlich aerodynamisch wie ein Frisbee. Die Struktur besteht aus Faserverbundmaterialien, adaptiven Strukturen und Membranen aus dem Ultraleichtbau. Entsprechend bauen die Badener deutlich leichtere Träger (acht Kubikmeter groß, drei Kilogramm Nutzlast) als die vergleichbare Konkurrenz – die *AEROTAIN*-Gruppe der *ETH Zürich* (circa 14 Kubikmeter, keine Nutzlastangabe) und der *ALTAIR* von Airbus (28 Kubikmeter für fünf Kilogramm Nutzlast).

Als Stecksystem konzipiert, lassen sich die Träger des *h-aero* trotz ihrer Spannweite von bis zu vier Metern in Transporttaschen von Skitaschengröße verstauen. Um möglichst viele strukturelle Synergien zu nutzen, haben alle angebauten Komponenten einen **Mehrfachnutzen**. So hält die Außenhülle nicht nur die Gaszelle, sondern trägt gleichzeitig zur Stabilität der Gesamtkonstruktion bei und stellt im Notfall den schon geöffneten Fallschirm dar. Die filigrane CFK Struktur im Inneren dient der Formbeständigkeit, dämpft elastisch Stöße ab und spannt die Außenhülle zu einem Fallschirm auf, sollte Gas entweichen. Die drehbaren Manövrierflächen dienen je nach Bedarf als Segel, um Windkräfte aufzunehmen oder als Ruder, um zu manövrieren. Der Mehrfachnutzen dient so im Wesentlichen dem Ultraleichtbau und der Sicherheit.

Leichte Strukturen, moderne Technik

Anders als ein Flugzeug kann der *h-aero* senkrecht starten, sich auf der Stelle drehen und schweben. Er benötigt daher keine Start- und Landebahn. Von einem Hubschrauber unterscheidet

Bild: Hybrid-Airplane Technologies GmbH



Die größte Version *h-aero one* kann bis zu drei Kilogramm Nutzlast befördern und dabei Flugzeiten von bis zu fünf Stunden erreichen



Bild: Hybrid-Airplane Technologies GmbH

Der h-aero kann auch über Menschenmassen, zum Beispiel auf Messen oder Konzerten, eingesetzt werden

sich der h-aero vor allem durch seinen **Energieverbrauch**. Die heutigen Drohnen nutzen im Wesentlichen eine Hubschrauber-technologie mit vier Rotoren und ausgeklügelter Regelungstechnik. Dem h-aero verleiht hingegen die Heliumgaszelle einen Teil des Auftriebs. So reduziert sich sein Energieverbrauch signifikant. Soll der Träger steigen, so sind unterschiedliche Modi möglich. Er kann nur mit Traggas, motorisiert oder hybrid aufsteigen. Dabei verhält sich die unter Druck stehende linsenförmige Außenhülle ähnlich wie der Rumpfkörper eines Nurflüglers. Bei einem entsprechenden Anstellwinkel können beim motorisierten Steigen gute Steigraten erreicht werden. Im Vergleich zu einem Ballon ist die Hülle des h-aero wesentlich aerodynamischer und somit weniger windempfindlich. Die Hülle kann zum Beispiel als Segel eingesetzt in den Wind gedreht werden, sofern es die Mission erfordert. Dazu tragen besonders leichte High-Tech-Materialien wie Faserverbundwerkstoffe und Segeltücher sowie eine nur geringe Menge an Metall für die Struktur bei. Die speziellen Heliumgaszellen sind hochdicht. Somit können die Flugsysteme rein statisch über mehrere Tage und Wochen in der Luft verweilen. Zudem können Solar- und Windenergie als regenerative Energiequellen während des Aufenthalts in der Luft genutzt werden. Gemeinsam mit dem *Institut für Photovoltaik* der Universität Stuttgart entwickelte das Team dafür erste ultraleichte Solarzellen, die noch dieses Jahr in die Träger integriert werden und einen Nonstop-Flug realisieren sollen.

Der h-aero ist mit einem leistungsfähigen **Bordcomputer** ausgestattet, der inklusive der Batterien unter 500 Gramm wiegt. Dieser verleiht dem Träger die Möglichkeit, bei den heutigen technologischen Trends wie *Internet of Things*, *Big Data*, *Autonomie*, *Maschinelles Lernen* und *Virtual Reality* mitzumischen – quasi ein fliegender Webserver. Damit arbeitete der Träger bereits mit dem *Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren* zusammen. Gemeinsam mit den Partnern *SAP*, *Vodafone*, *Bernot IT* und *Vaireco GmbH* hat sich Hybrid-Airplane Technologies gegenwärtig auf ein von der *Europäischen Weltraumorganisation ESA* ausgeschriebenes Projekt im Bereich der *High Altitude Pseudo Satellites (HAPS)* und der Realisierung einer unterstützenden Satellitenkommunikation beworben.

Branche	Beispiele für Anwendungen
Land- & Forstwirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> • Aufspüren und Zählung von Wildtieren • Untersuchung großer Flächen bezüglich Schädlingsbefall und Sturmschäden
Media & Entertainment	<ul style="list-style-type: none"> • Spydercam mit Livestream-Funktion • Skyscreen und fliegender Werbeträger
Behörden	<ul style="list-style-type: none"> • Observation von Demos und Großveranstaltungen • Erstaufklärung von Katastrophengebieten • Edukationsinstrument für Schulen und Universitäten
Bauwirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> • Baustellendokumentation innen und außen • Überwachung von Baustellen gegen Diebstahl • Detektion von unbefugtem Zutritt
Energie	<ul style="list-style-type: none"> • Inspektion großer Solarparks mittels Elektrolumineszenz • Ferninspektion entlegener Pumpspeicherkraftwerke
Rohstoffwirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> • kostengünstige Explorationen von Öl- und Gasfeldern mittels Magnetometer • Inspektion stillgelegter Minen und Stollen
Sicherheitsgewerbe	<ul style="list-style-type: none"> • Fernüberwachung sicherheitsrelevanter Bereiche • Luftbilder von Großveranstaltungen

Neben der Entwicklungsrichtung der HAPS erarbeitet das Unternehmen auch die Alternative der *Low Altitude Pseudo Satellites (LAPS)*. Diese weisen sowohl aus technischer als auch aus finanzieller Sicht ein wesentlich geringeres Risiko auf.

Die technischen Besonderheiten, aber auch die Entwicklungszeit und der Entwicklungsaufwand, sind innovativ. Die heute bewährten Flugkonzepte wurden meist nicht für zivile, sondern für militärische Anwendungen entwickelt. So mussten oft Testpiloten die ersten fliegenden Konstruktionen testen. Im Zeitalter der Digitalisierung ist es möglich, neue Flugkonzepte wesentlich effizienter, sicherer und in vielerlei Hinsicht risikoärmer zu entwickeln. Heute werden **zunächst kleinere Modelle** entwickelt, die dann **schrittweise** zu größeren Modellen **skaliert** werden. Das führt zu einer wesentlich schnelleren Lernkurve und minimierten finanziellen und technischen Risiken.

Erstmals auch bei Großveranstaltungen einsetzbar

Die drei aktuellen Systeme h-aero zero, zero+ und one können statisch 500 Gramm, 900 Gramm oder drei Kilogramm tragen. Kurzfristig soll der Markt der UAVs mit einer **Zuladung bis zehn Kilogramm** bedient werden. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt

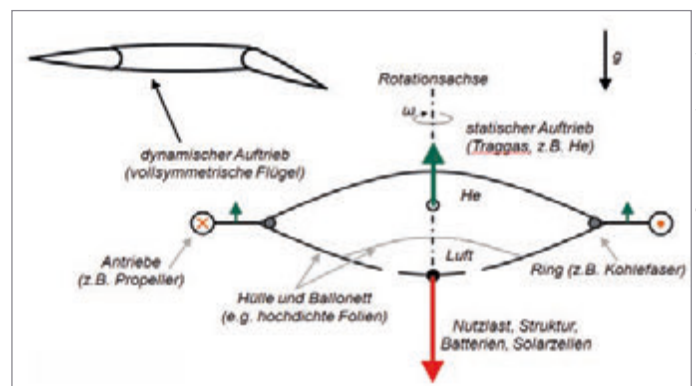


Bild: Hybrid-Airplane Technologies GmbH

Die technische Zeichnung zeigt das primäre Equipment für die hybride Auftriebserzeugung

derzeit 15 Kilometer pro Stunde bei Flugzeiten von bis zu fünf Stunden. Zusätzlich können die h-aero-Fluggeräte auch die Funktion eines *Aerostaten* übernehmen. Mit einem positiven Auftrieb und mit Sicherungsseilen am Boden verankert, halten sie so auch bei widrigen Wetterbedingungen über Tage hinweg ihre Position. Es stehen dabei verschiedene Nutzlasten zur Verfügung – von optischen Kamerasystemen bis hin zu unterschiedlicher Sensorik für die Erkennung und Messung von Feinstaub- und Gaskonzentrationen.

Ein wichtiger Meilenstein ist die **Zulassung** der h-aero-Flugsysteme für den **Betrieb über Menschenansammlungen**. Zusammen mit dem *UAV DACH e. V. (Verein für unbemannte Luftfahrt)* konnte ein Sicherheitsgutachten gemäß den *RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems)-SORA (Specific Operational Risk Assessment)*-Vorschriften erarbeitet werden, das h-aero auch im Fall eines Systemausfalls als ausreichend sicher einstuft. Im Notfall verhält sich die gesamte Konstruktion wie ein geöffneter Fallschirm, der alle aktuellen Sicherheitsstrategien von motorisierten Flugkörpern übertrifft. Somit lassen sich **erstmalig** unbemannte Systeme für **sicherheitsrelevante Aufgaben auf Großveranstaltungen** wie beispielsweise Demonstrationen einsetzen, ohne dabei selbst zu einem Sicherheitsrisiko zu werden. In Österreich konnte zusammen mit der Firma *Sky Elements* die Zulassung in der Kategorie C erreicht werden, die den Flug in urbanen Gebieten erlaubt.

Die **Anwendungsbereiche** des h-aero reichen so von der Beobachtung ökosensitiver Gebiete, der Erkundung von unwirtlichen Gegenden nach Wasservorkommen bis hin zum Einsatz als wiederverwendbare Sonde für die Klima- und Wetterforschung. Das Fluggerät aus Baden-Baden soll zukünftig auf solchen Missionen zum Einsatz kommen, die aufgrund der benötigten Flugdauer oder geltenden Sicherheitsauflagen bisher nur von bemannten Systemen durchgeführt werden konnten – bei entsprechend hohen Kosten und Umweltbelastungen. So ist beispielsweise in Kooperation mit dem Unternehmen *Eagle Ai* der Einsatz bei der Detektion und Vorhersage von Waldbränden geplant. Ein globales Problem, das sich im Zuge der Erderwärmung ständig verschärft.

Auch bemannte Flüge sind möglich

Derzeit untersucht das Unternehmen die **Autonomie der Trägersysteme**. Dabei werden die Heliumkopter in die Lage versetzt, sich eigenständig im Raum zu orientieren und auszurichten. Nach gegebenen Steuersignalen, die wahlweise mittels WLAN, Mobilfunk, Funkmodems, optischer Kommunikationsverfahren oder Satellitenkommunikation übermittelt werden, sollen autonome Zustandsänderungen erfolgen können. Dazu zählen beispielsweise das Abfliegen eines Gebiets mit unterschiedlichen Flugmustern oder das Ändern des Ziels während einer autonomen Flugsequenz von einem Ort zum anderen. Die aktuelle weberorientierte Autonomie und Steuereinheit ermöglicht bereits ein ausgerichtetes Schweben mit vorgegebener Höhe über Grund, inklusive Einhaltung einer vorgegebenen Himmelsrichtung.

Mittel- und langfristig sollen größer skalierte Versionen für den bemannten Flug sowie autonom fliegende Höhenplattformen realisiert werden. Aus heutiger Sicht ist die Entwicklung von Trägern mit 100 Kilogramm Nutzlast bereits in zwei bis drei Jahren möglich. ●

Christian Schultze
Lars Drögemüller
Csaba Singer

Hybrid-Airplane Technologies GmbH

AUSZEICHNUNGEN FÜR NACHHALTIGE INNOVATION

Die *Hybrid-Airplane Technologies GmbH* hat im Juni 2018 als eines der ersten 50 Unternehmen weltweit das **Efficient Solution Label** der *Solar Impulse Foundation* verliehen bekommen. Dieses Label wird an Lösungen und Lösungsansätze verliehen, die die hohen Standards an nachhaltiges und profitables Handeln erfüllen. Mit diesem Label will Solar Impulse die Lücke zwischen Ökologie und Ökonomie schließen. Die *Hybrid-Airplane Technologies GmbH* wurde außerdem bei den von der Europäischen Union ausgerichteten **Copernicus Masters 2017** und der **European Satellite Navigation Competition 2017** ausgezeichnet. Das Unternehmen zählte zudem zu den Finalisten beim **Innovationspreis der Deutschen Luftfahrt 2017** und dem **Neumacher Gründerpreis** der *Handelsblatt Media Group 2018*.



Professional MBA Aviation Management



Take off to your future career!

Master of Business Administration, 4 semesters, part time

- international part time format
- double accredited
- renowned faculty
- blended learning concept
- global alumni network
- rolling admission



Your industry is unique. So are we.

Danube University Krems. Danube Business School.
www.donau-uni.ac.at/aviation-mba

Pylonen unter den Flügeln von HALO tragen die Messinstrumente

10 Jahre HALO

Im Einsatz für die Klimaforschung

„HALO hat alle unsere Erwartungen erfüllt.“

Stefan Grillenbeck, DLR-Forschungspilot



Bild: DLR (CC-BY 3.0)

Einblicke in das Innere von HALO. Alle Daten fließen in konfigurierbaren Racks zusammen.

Zwischen 87 Grad Nord über dem Nordpolarmeer und 65 Grad Süd über der Antarktis war das deutsche Atmosphären-Forschungsflugzeug **HALO** (*High Altitude and Long Range Research Aircraft*) über die vergangene Dekade im Einsatz. 23 Missionen über alle Ozeane und Kontinente hinweg zählt das Logbuch inzwischen: mehr als 2.000 Flugstunden in der Luft für die Forschung in bis zu 15 Kilometer Höhe. HALO ist ein Gemeinschaftsprojekt deutscher Umwelt- und Klimaforschungseinrichtungen der *Helmholtz-Gemeinschaft* und der *Max-Planck-Gesellschaft*, initiiert mit Mitteln des *Bundesministeriums für*

Bildung und Forschung (BMBF). Getragen wird das Forschungsflugzeug von der *Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG)*, der *Max-Planck-Gesellschaft*, dem *Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)*, dem *Forschungszentrum Jülich*, dem *Karlsruher Institut für Technologie* und dem *Leibniz-Institut für Troposphärenforschung*. Die Einrichtung *Flugexperimente des DLR* in Oberpfaffenhofen ist für den Betrieb verantwortlich.

HALO erforscht die **Atmosphäre** und ihre Wechselwirkungen mit der Erde, dem Leben und der Zivilisation direkt in der Luft. Das einzigartige Forschungsflugzeug erreicht eine maximale Flughöhe von 15.000 Metern und ermöglicht so Messungen von der Troposphäre bis in die Stratosphäre hinein. Damit schließt das Flugzeug die Lücke zwischen Beobachtungsstationen auf der Erde und den Erdbeobachtungssatelliten im Weltall. Darüber hinaus kann es aufgrund seiner besonders großen Reichweite bis zu zehn Stunden in der Luft bleiben. Dadurch werden alle Regionen der Erde für die Forschung zugänglich – von den Polen bis zu den Tropen und den abgelegenen Regionen über den Ozeanen.

Von einer G550 zum Forschungsflugzeug

HALOs Geschichte begann 2005 mit einem **Gulfstream G550 Business Jet**, der in ein Klimaforschungsflugzeug umfunktioniert werden sollte. Für diesen wissenschaftlichen Einsatz wurde er aufwendig umgebaut und erprobt und 2009 zum DLR in Oberpfaffenhofen überführt.



Bild: DLR (CC-BY 3.0)

HALO basiert auf einem Ultra Long Range Business Jet G550 der Firma Gulfstream. Die Kombination aus Reichweite, Flughöhe, Nutzlast und umfangreicher Instrumentierung macht das Flugzeug zu einer weltweit einzigartigen Forschungsplattform.

Die umgebaute Gulfstream G550 ist mit zahlreichen Lufteinlässen für Messinstrumente ausgestattet und verfügt über spezielle optische Fenster für Fernerkundungsmessgeräte. In der Kabine können bis zu 15 universelle Gestelle wissenschaftliche Messgeräte aufnehmen. Unter dem Rumpf und unter den Tragflächen können zusätzlich Behälter für wissenschaftliche Instrumente angebracht werden. Eine gesonderte Stromversorgung ermöglicht den Betrieb von Geräten innerhalb und außerhalb der Kabine. Anhand einer eigens entwickelten Sensorik sowie eines fest eingebauten Systems zur Datenerfassung und -aufbereitung können die Wissenschaftler auch während eines Flugs bereits Informationen über die Atmosphäre und das Flugzeug selbst erhalten.

Atmosphärenforschung vor Ort

Mit wechselnder Ausstattung ist HALO seit August 2012 weltweit auf verschiedenen Missionen unterwegs. Im Bereich der Atmosphärenchemie untersuchte das Forschungsflugzeug im Winter 2016 bei der Mission *POLSTRACC (The Polar Stratosphere in a Changing Climate)* in der Arktis, wie empfindlich sich die Spurengase Ozon und Wasserdampf auf das bodennahe Klima auswirken. Für die Wolkenforschung war HALO im Herbst 2014 auf außergewöhnlichen Flügen über dem brasilianischen Regenwald unterwegs. Bei der Mission *ACRIDICON (Aerosol, Cloud, Precipitation and Radiation Interactions and Dynamics of Convective Cloud Systems)* untersuchten die Forscher, wie sich der Ruß zahlreicher Brandrodungen in den Tropen auf die Wolkenbildung und Niederschlagsintensität auswirkt. Die Mission *ML-CIRRUS (Mid-*



Bild: DLR (CC-BY 3.0)

Unter dem Rumpf sowie unter den Tragflächen von HALO können zusätzlich Behälter für wissenschaftliche Instrumente befestigt werden

Latitude Cirrus) rückte davor im Frühjahr 2014 den Blick auf die hohen Eiswolken (Zirren) in acht bis 14 Kilometer Höhe sowie deren Auswirkung auf das Klima.

Bei der *NAWDEX (North Atlantic Waveguide and Downstream Impact Experiment)*-Mission flog HALO im Herbst 2016 im Rahmen einer internationalen Messkampagne gemeinsam mit Partnern aus den USA, Großbritannien und der Schweiz, um die Atmosphärendynamik und Transportprozesse über dem Nordatlantik zu vermessen. Mithilfe der umfangreichen Daten verfeinern die Forscher Wetterprognosen und wollen Extremwetterereignisse besser vorhersagen und verstehen.



Bild: DLR (CC-BY 3.0)

Der Forschungsflieger HALO ist für Langstrecken bis 8.000 Kilometern sowie Höhen bis 15 Kilometern ausgelegt

Interview mit Stefan Grillenbeck, DLR-Forschungspilot

Zehn Jahre Entwicklung und Einsatz von HALO

Einer, der von der ersten Stunde an in HALOs Cockpit mit dabei war, ist DLR-Forschungspilot **Stefan Grillenbeck**. Am 24. Januar 2009 saß er am Steuer, als die aufwendig modifizierte G550 von Gulfstream in Savannah, USA, in ihre neue Heimat nach Deutschland überführt wurde. Im Interview erzählt Grillenbeck von seinen ersten Begegnungen mit HALO, seiner Begeisterung für den Testpilotenberuf und warum er über der Arktis unvergessliche Momente im Cockpit erlebte.



Bild: DLR (CC-BY 3.0)

Seit 1996 ist Stefan Grillenbeck Forschungspilot im Dienst der DLR-Forschungsflotte

Lieber Herr Grillenbeck, als Forschungspilot sind Sie weltweit über alle Kontinente geflogen und das höher und weiter, als es die meisten Flugpassagiere je erleben werden. Fühlen Sie sich dem Himmel manchmal näher als der Erde?

In der Luft sind wir dem Himmel beim Fliegen natürlich immer etwas näher. Und es ist ein Privileg, unsere Erde von oben sehen zu dürfen. Leider ist die Freiheit dort oben nicht immer ganz so grenzenlos, wie in Reinhard Meys Lied beschrieben.

Wie sind Sie zur Fliegerei gekommen?

Am Gymnasium in Oberfranken habe ich bereits in jungen Jahren mit der **Segelfliegerei** begonnen. An der *Hochschule München* studierte ich dann **Luftfahrzeugtechnik** und über Kommilitonen kam ich in Kontakt mit dem DLR-Flugbetrieb. Ich trat der Flugsportgruppe in Oberpfaffenhofen bei und habe dort zügig meine **Motorfluglizenz** erworben. Ich absolvierte erste Nachtflüge, schleppte Segelflugzeuge in die Thermik und trainierte darüber hinaus **Kunstflug**.

Wie und wann wurden Sie Testpilot?

Beim DLR startete ich zunächst als **Flugversuchingenieur**. Während dieser Zeit bin ich bereits erste Einsätze mit der *Cessna 207* und den Motorseglern geflogen. Richtig Schwung bekam meine Testpilotenlaufbahn allerdings erst, als ich neben der Ingenieurstätigkeit meine **Verkehrspilotenlizenz** erwarb. 1996 bewarb ich mich dann

erfolgreich auf eine Pilotenstelle. Von da an war ich sehr viel unterwegs, oft mit den Polarflugzeugen des *Alfred-Wegener-Instituts* in der Antarktis oder mit der *DLR Falcon 20* in Spitzbergen. Die ersten zwei Jahre war ich wenig zu Hause und absolvierte neben den vielen Einsätzen dann auch die **Testpilotenschule** in England.

Was macht einen Testpiloten aus?

Faszination für fliegerische Herausforderungen ist ein wichtiger Antreiber. Teamfähigkeit ist essenziell, da an Bord Piloten, Bordingenieure und Wissenschaftler eng zusammenarbeiten. Bei Testflügen sind zudem hohe Präzision, ein ausgeprägtes Sicherheitsbewusstsein und Disziplin erforderlich. Es braucht Erfahrung und ein gutes Verständnis aller Einflussfaktoren, um die richtigen Entscheidungen zu treffen und das Flugverhalten anschließend bewerten zu können. Denn besonders herausfordernd wird es dann, wenn man bei Flugprobungen über die vom Hersteller zugelassenen Grenzbereiche hinaus fliegt.

Was fasziniert Sie an Ihrem Beruf?

An der Forschungsfliegerei begeistert mich vor allem die **Vielfalt**. Jeder Flug ist einzigartig und wir sind oft in außergewöhnlichen Regionen unterwegs. Zudem sind wir Testpiloten in die Planung der Kampagnen und die Koordination mit der Flugsicherung involviert. Gleichzeitig leisten wir mit unseren Flügen einen wichtigen Beitrag für die **Atmosphärenforschung**. Wer kann schon von sich behaupten, im Abgasstrahl eines Verkehrsflugzeuges ge-

fliegen zu sein oder durch das Auge eines tropischen Taifuns?!

Seit zehn Jahren hat HALO nun im Hangar des DLR-Flugbetriebs in Oberpfaffenhofen sein Zuhause: Wie sah Ihre erste Begegnung mit dieser speziellen Gulfstream G550 aus?

Zum ersten Mal begegnete ich HALO drei Jahre zuvor, als die Gulfstream noch in der Original-Standardausführung frisch aus der Fertigung kam. Das war im Jahr 2005 und wir waren nach Savannah geflogen, um mit dem Hersteller den Umbau als „Special Mission Aircraft“ weiter zu spezifizieren. HALO hat übrigens die Seriennummer 5093 und ist damit das **93. Exemplar** der Produktionsreihe.

Warum fiel die Entscheidung damals auf dieses Businessjet-Modell von Gulfstream?

Entscheidend waren die **Leistungsmerkmale**. Für die Atmosphärenforschung wurde ein Flugzeug benötigt, das besonders hoch und besonders weit mit bis zu drei Tonnen Nutzlast fliegen kann. Von daher kamen damals nur die *Gulfstream G550* und der *Global Express* von Bombardier in Frage. Beide Modelle prüften wir intensiv auch bei Probeflügen am Steuer. Letztendlich waren bei Gulfstream die Voraussetzungen besser, um die vielen Modifikationen am neuen Flugzeug umzusetzen, wie beispielsweise die zahlreichen Löcher im Rumpf für Lufteinlässe / Sensoren oder der Einbau optischer Fenster im Boden für ein laserbasiertes Wolkenlidar.

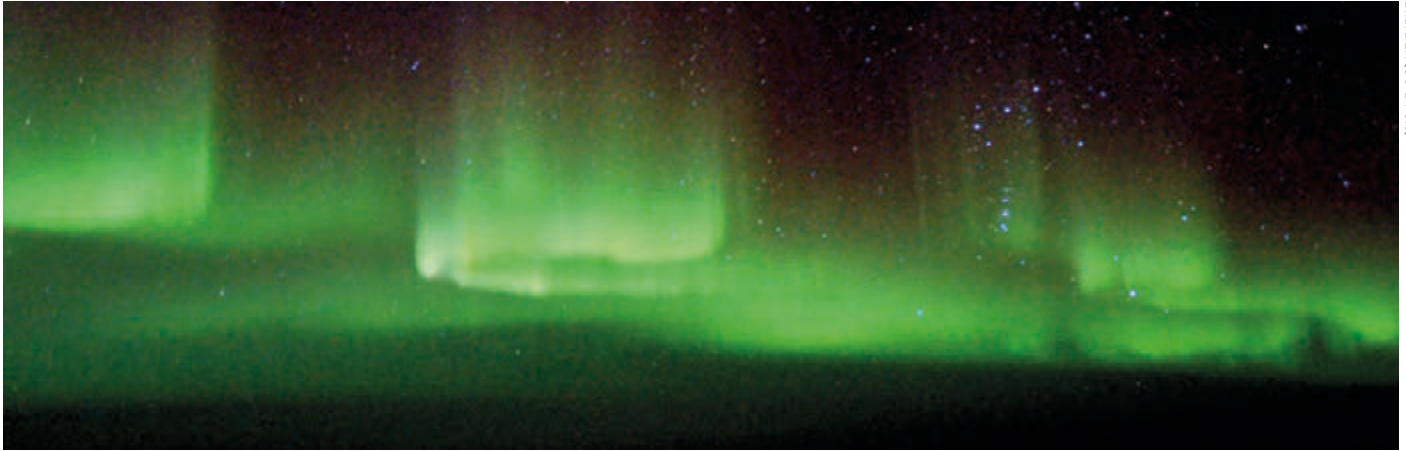


Bild: DLR (CC-BY 3.0)

Während eines HALO-Flugs Anfang 2016 über der Arktis beobachteten die Piloten und Forscher die Polarlichter

Wie war Ihr Gefühl beim ersten Flug mit HALO?

Die Performance war äußerst beeindruckend, vor allem die hohe Schubkraft der Triebwerke und die ausgezeichnete Aerodynamik. Man fühlt sich schnell verbunden mit dem Flugzeug und lange Strecken lassen sich damit optimal und relativ ermüdungsfrei zurücklegen. HALO hat alle unsere Erwartungen erfüllt.

Dann im Januar 2009 landete HALO das erste Mal beim DLR in Oberpfaffenhofen. Wie ging es weiter bis zum ersten Einsatz für die Atmosphärenforschung?

Nach der Landung am 24. Januar 2009 in Oberpfaffenhofen waren noch eine ganze Reihe **Zulassungsflüge** für verschiedene wissenschaftliche Anbauten nötig. Diese beschäftigten uns bis Ende 2011. Viele dieser Flüge dienten der Erprobung des Flugverhaltens nach dem schrittweisen Einbau der zahlreichen Modifikationen. Besonders markant gestaltete sich der Einbau des *Belly Pod*, eines optionalen Behälters unter dem vorderen Rumpf für zusätzliche Messgeräte. Dieser wurde am DLR entwickelt und von uns fliegerisch erprobt. 2012 war es dann endlich so weit: HALO flog im Frühjahr bei der Mission „GEOHALO“ den ersten Einsatz.

Was macht HALO so besonders? Was kann so ein Atmosphären-Forschungsflieger?

HALO kann umfangreiche **Nutzlast** über **viele Stunden** auch in **große Höhen** fliegen, die beispielsweise für die Atmosphärenforscher besonders interessant sind.

Zudem ist das Forschungsflugzeug mit zahlreichen Lufteinlässen für Messinstrumente ausgestattet und verfügt über spezielle optische Fenster für Fernerkundungsmessgeräte. Es erlaubt Wissenschaftlern unter anderem, *Drop-Sonden* abzuwerfen oder mit Hilfe von Sonden an den Tragflächen im Flug umfangreiche Atmosphären Daten zu erfassen.

Wer ist mit Ihnen an Bord? Wie ist die Arbeitsteilung?

An Bord haben wir ein konventionelles **Zwei-Mann-Cockpit**. Zusätzlich gibt es einen **Bordingenieur**, der bei Start und Landung auf dem Jump Seat hinter den Piloten sitzt. Er ist mit den zulassungsrelevanten Sicherheitsmaßnahmen hinsichtlich der eingebauten, wissenschaftlichen Instrumente vertraut und weiß, welche Sicherheitsmaßnahmen im Notfall zusätzlich erforderlich sind. Mit dem leitenden „**Mission Scientist**“ an Bord stimmen wir etwaige Flugänderungen über Interkom ab. Die **Wissenschaftlerinnen** und **Wissenschaftler** im Flugzeug sind zudem mit ihren Teams am Boden über einen Chatkanal per Satellitenkommunikation verbunden.

Wie hält man sich fit und wie verpflegt man sich während der langen Flüge?

Das ist sehr bodenständig. Jeder nimmt seine eigene Verpflegung mit und kann in den ruhigeren Flugphasen auch mal ein Mikrowellengericht aufwärmen. Wichtig ist eine ausreichende Flüssigkeitsaufnahme – besonders auf längeren Flügen. Und ich trinke gerne einen Kaffee aus der Kaffee-

maschine an Bord, bevor es nach einem langen Flug zum Landeanflug geht. *(lacht)*

Gibt es einen Forschungsflug, der Ihnen in besonderer Erinnerung geblieben ist?

Das war Anfang 2016 während der Mission „Gravity Wave Life Cycle“, als wir verschiedene Flüge aus *Kiruna* in Nordschweden zur Vermessung von atmosphärischen Schwerewellen durchführten. Damals waren wir ausschließlich nachts in der Luft. Ein Flug führte uns fünf Stunden Richtung Norden durch ein gigantisches Schauspiel an **Polarlichtern**. Es war ein unvergessliches Spektakel zwischen Himmel und Erde.

Welche zukünftigen Herausforderungen warten auf Sie im HALO-Cockpit?

Im Frühjahr/Sommer 2019 werde ich zunächst einige **Testflüge** für die Zulassung neuer Anbauten durchführen. Dann folgen zwei längere Einsätze für die **Forschungskampagne** „SOUTHTRAC“, am südlichsten Ende Patagoniens. Dafür werden wir im September und November mehrere Wochen in *Río Grande* auf Feuerland/Argentinien stationiert sein. Es sind Messflüge über den Anden und in Richtung Antarktis geplant und ich werde dem weißen Kontinent wieder ganz nah sein – dort, wo meine Laufbahn als Forschungspilot begann. ●

Wir bedanken uns bei Stefan Grillenbeck für das Interview.

Falk Dambowsky
Deutsches Zentrum für
Luft- und Raumfahrt (DLR)



**WE ARE PIONEERS
OF PASSION.**

Climbing higher. Together.

Was all unsere Mitarbeiter an unseren unterschiedlichen Standorten schon immer gemeinsam haben? Die unbändige Begeisterung und Leidenschaft für die Luftfahrt. Beides spürt man schon heute in allen Lösungen und Produkten, die wir für unsere Kunden entwickeln. Für den gemeinsamen Erfolg.

www.diehl.com/aviation

A person wearing a white lab coat, hairnet, and face mask is working on a large, complex satellite component. The component is covered in numerous small, circular components and is mounted on a wooden frame. The background is a cleanroom environment with wooden structures.

Das Projekt OneWeb Satellitenbau in neuen Dimensionen



Bild: Airbus/OneWeb Satellites

600 Satelliten sollen ein weltumspannendes Netz bilden und jeden Ort der Welt mit Internet versorgen können

Mit ihrer Vision, die gesamte Erde mit schnellem und kostengünstigem Breitband-Internet zu versorgen, revolutioniert die OneWeb-Initiative den Bau von Satelliten. Denn um ihr Ziel, über sechshundert Satelliten zeitnah ins All zu bringen, zu erreichen, müssen mehrere Satelliten pro Tag in Serienproduktion gebaut werden – eine Revolution, denn bisher dauerte die Herstellung eines Kommunikationssatelliten meist einige Jahre. Das Vorhaben kann funktionieren, weil die OneWeb-Satelliten kleiner und leichter sind und auf eine innovative Art gebaut werden. Die ersten sechs Satelliten starteten am 27. Februar 2019 um 21:37 Uhr Ortszeit von Kourou in Französisch-Guayana an Bord einer Sojus-Rakete erfolgreich ins All. Bald sollen monatliche Starts mit mehr als 30 Satelliten pro Rakete bis 2021 für eine vollständige globale kommerzielle Abdeckung sorgen.

Milliarden von Menschen, besonders in entlegenen Regionen der Erde, haben keinen Zugang zum Internet. Auch Menschen, die unterwegs sind – auf den Straßen, in der Luft oder auf See – sind in dieser Zeit oft abgeschnitten vom Kommunikationsnetz. Fluglinien möchten ihren Passagieren einen Internetzugang anbieten können und weltweit steigt die Nachfrage nach Datenvolumen. Eine **verbesserte Internetversorgung** ist also dringend nötig. Das Projekt OneWeb entstand jedoch zunächst aus dem Wunsch, Schulen in Afrika zu vernetzen. Der Unternehmer und Ingenieur **Greg Wyler** hatte die Vision, ländliche Gebiete in Ruanda ans Internet anzuschließen. Er baute dort eines der modernsten Mobilfunknetze auf, das ihn auf die Idee für ein **die Erde umspan-**

nendes Satellitennetz brachte, das Kabel überflüssig machen und so das Internet auch in die entlegensten Orte der Welt bringen sollte.

Von drei Milliarden Menschen zur gesamten Weltbevölkerung

Wyler gründete daraufhin das britische Unternehmen *O3b Networks*. Der Name „Other 3 billion“ steht für „**weitere drei Milliarden Menschen**“, also rund die Hälfte der Weltbevölkerung, die bislang keinen Zugriff auf das Internet und Telekommunikationsdienste hat. Dies trifft vor allem die Bevölkerung und die Unternehmen in den **Entwicklungs- und Schwellenländern**, wo das Verlegen einer kabelgebundenen Infrastruktur viel zu teuer ist. Die bald 20 O3b-Satelliten fliegen in einer Höhe von 8.000 Kilometern über dem Äquator und erreichen mit ihren Signalen im Norden und Süden alle Gebiete bis etwa zum 45. Breitengrad. Durch die geringe Flughöhe entstehen geringere Übertragungszeiten im Vergleich zu den geostationären Satelliten in rund 36.000 Kilometern über der Erdoberfläche.

Mit den Erkenntnissen der O3b-Konstellation und um noch mehr Menschen weltweit an das Internet anzuschließen, gründete Wyler 2012 das Start-up *WorldVu Satellites* und nannte es 2015 in **OneWeb** um. Bei dieser viel größeren Satellitenkonstellation sollten die einzelnen Satelliten nur 1.200 Kilometer über dem Erdboden fliegen, sodass jeder Ort zu jeder Zeit im Blickfeld einiger OneWeb-Satelliten liegt. Wylers Ziel ist ein globales Kommunikationssystem, um die Wettbewerbsbedingungen in einer vernetzten Welt anzugleichen und die bisher vom schnellen und zuverlässigen Internetzugang ausgeschlossenen Gemeinden, Bereiche und Branchen anzuschließen. Um ein solches Projekt realisieren zu können, mussten die Kosten für die Satelliten drastisch sinken. Statt einen einzelnen Satelliten für 50 Millionen Dollar zu bauen, strebte Wyler Satelliten für nur 500.000 Dollar an. Ein ambitioniertes Vorhaben. Mit etwa 35 Ingenieuren bastelte er daher an einem neuen Satelliten, der den Anforderungen entsprechen, aber dessen Technik so einfach sein sollte, dass die günstigere Produktion möglich werden würde.

Bild: Airbus/OneWeb Satellites



Eine Sojus-Rakete brachte die ersten sechs OneWeb-Satelliten ins All

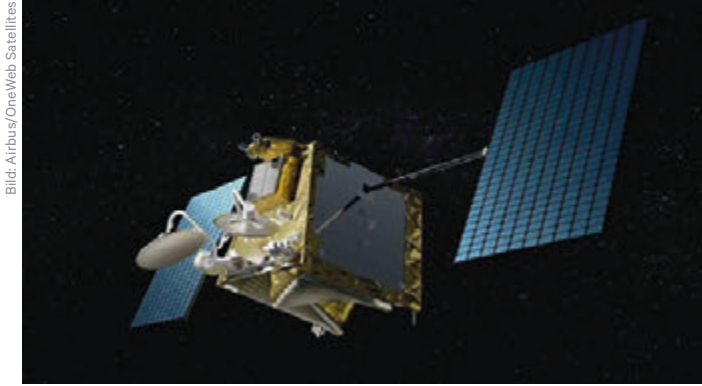


Bild: Airbus/OneWeb Satellites

Ein OneWeb-Satellit ist etwa so groß wie ein Kühlschrank

Lange war das Unternehmen noch selbst finanziert. Um aber die nächste Hürde zur Produktion zu nehmen, brauchte es große Partner. So trat Wyler an potenzielle Investoren und große internationale Raumfahrtunternehmen heran. Die anfängliche Skepsis aufgrund der günstigen Satelliten ließ bald nach und es fanden sich einige **Investoren**, die das Unternehmen zu Beginn mit **500 Millionen Dollar** förderten. Zu den Anteilseignern zählen mittlerweile unter anderem der japanische Telekommunikationskonzern *Softbank*, die *Sir Group* von **Sir Richard Branson**, der Getränkehersteller *Coca-Cola* und das europäische Raumfahrtunternehmen *Airbus Defence and Space*.

Serienfertigung für mehr als 600 Satelliten

Über die Investoren sammelte OneWeb innerhalb kürzester Zeit rund 1,7 Milliarden Dollar. Damit war die Finanzierung fürs Erste gesichert und die Umsetzung konnte beginnen. Für den Bau benötigte das Unternehmen einen Partner, der es möglich machen sollte, hunderte Satelliten in nur wenigen Jahren zu fertigen. Aus diesem Grund schloss sich OneWeb 2016 mit *Airbus Defence and Space* zum Joint Venture **OneWeb Satellites** zusammen, um eine neue Ära des Satellitenbaus einzuläuten. Airbus-CEO **Tom Enders** nannte OneWeb Satellites damals „ein Transformationsprojekt – nicht nur für Airbus, sondern für die Raumfahrt als Ganzes“, da „nie zuvor qualitativ hochwertige Satelliten zu so geringen Kosten, in einem solch schnellen Tempo und in so großen Mengen produziert wurden.“ Ziel von OneWeb Satellites ist es, das ursprüngliche Konzept zu modifizieren, um die Satelliten kostengünstiger und zuverlässiger zu machen und sobald wie möglich das Ziel eines weltweiten Internetzugangs zu erreichen.

Für den **Bau der Satelliten** entsteht eine völlig neue **Serienproduktion**. In Florida in der Nähe des Kennedy Space Centers wurde eine neue Fabrik gebaut, in der mehrere Satelliten pro Tag gefertigt werden sollen. Die ersten zehn OneWeb-Satelliten baute Airbus jedoch in einer im Juni 2017 eröffneten Montagelinie in Toulouse gefertigt, um die Produktionsmethoden zu validieren, potenzielle Risiken zu mindern und die Grundlagen für das größere Werk in Florida mit mehreren Fertigungslinien zu legen. Damit soll pro Tag mindestens ein OneWeb-Satellit fertiggestellt werden. Das Werk ist für bis zu vier Satellitenstrukturen pro Tag ausgelegt. Das kann unter anderem gelingen, weil die einzelnen Module alle an einer Arbeitsstation zusammengebaut und auch direkt getestet werden und jeder der Satelliten exakt gleich gebaut ist.

Von Gateways über Satelliten zu den Nutzern

Das OneWeb-System besteht aus **drei Komponenten**: den **Internet-Gateways** auf der Erde, die das Signal zu den Satelliten senden, den **Satelliten** selbst und den **Kundenterminals** für den Empfang. Laut OneWeb-Gründer Greg Wyler sollen mehr als 40 Gateways weltweit entstehen, die alle in der Lage sind, die Satelliten bis zu 4.000 Kilometern entfernt zu „sehen“. Das Netz ist so aufgebaut, dass es eine weltweite Abdeckung ermöglicht. Die OneWeb-Satelliten werden in einer Höhe von 400 bis 500 Kilometern über der Erde ausgesetzt. Von dort aus steigen sie auf ihren Orbit in 1.200 Kilometer Höhe. Laut OneWeb hat dieser Orbit bislang eine geringe Dichte an Objekten und Weltraumschrott, was einen vergleichsweise sicheren Betrieb der Satelliten garantieren soll.

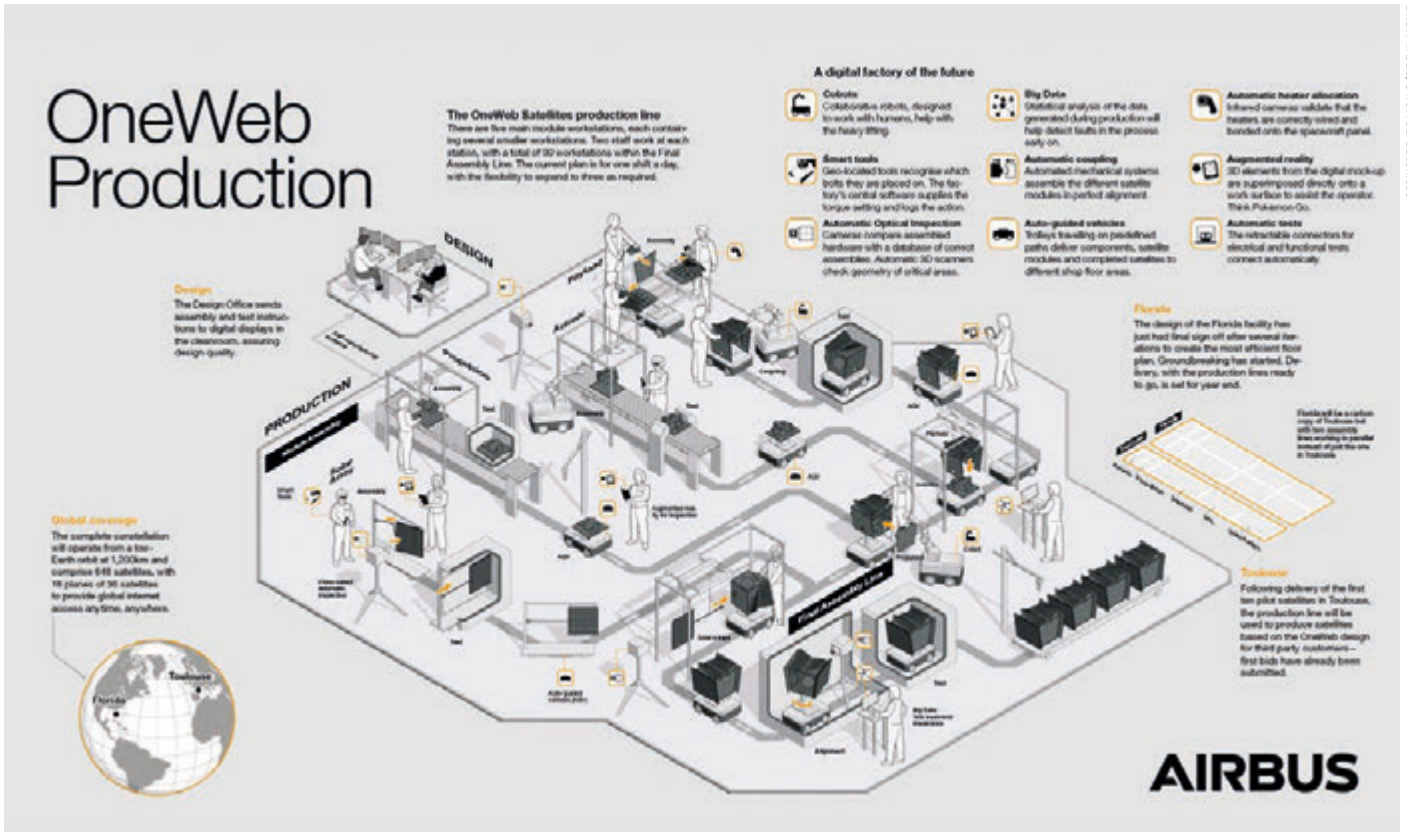
Geplant sind **648 OneWeb-Satelliten** – 600 Satelliten sollen für das weltumspannende Netz eingesetzt werden, die restlichen 48 dienen als Ersatz. OneWeb denkt derzeit noch darüber nach, ob es die erste Generation seiner Satelliten auf 900 erweitern oder sich eher an einer zweiten Generation orientieren möchte. Diese könnte die vollständige Konstellation auf 1.980 Satelliten erweitern. Um mit einer so großen Anzahl von Satelliten nicht mit den fast 15.000 geostationären Satelliten zu interferieren, nutzt OneWeb eine eigens entwickelte Technologie mit dem Namen „**Progressive Pitch**“. Diese sorgt dafür, dass sich die Satelliten leicht neigen, wenn sie sich dem Äquator nähern. So können keine Interferenzen verursacht oder empfangen werden. OneWeb hatte zuvor die Lizenz für ein fast sieben Gigahertz großes Spektrum erworben, das 1997 von der *Internationalen Fernmeldeunion (ITU)* auch für nicht-geostationäre Satellitensysteme geöffnet wurde. Bislang wird dieses Spektrum hauptsächlich von geostationären Satelliten genutzt, die über dem Äquator über der Erde stehen.

Die **einzelnen OneWeb-Satelliten** haben eine Masse von circa 145 Kilogramm. Anders als bei geplanten Satellitenschwärmen anderer Unternehmen sind diese im Weltraum nicht über sogenannte „inter-satellite links“ miteinander verbunden, das heißt, sie **kommunizieren nicht untereinander**. Laut Wyler hätte eine solche Technologie den Aufbau von Gateways und Terminals auf der Erde nicht deutlich günstiger gemacht. Wohl aber wären die Kosten für die einzelnen Satelliten stark gestiegen, da diese größer und komplexer hätten sein müssen. Außerdem wären die Satelliten so anfälliger gewesen. „Our satellites are stupid“, fasste Wyler die simple Satellitenbauart in einem Vortrag zusammen, den er 2017 auf dem *Deutschen Luft- und Raumfahrtkongress (DLRK)* in München hielt.



Bild: Airbus/OneWeb Satellites

Die ersten Satelliten wurden in Toulouse verpackt und nach Kourou verschickt



Die Linienfertigung besteht aus vier Fertigungsstationen für die verschiedenen Module der Satelliten und einer Endmontagelinie

Die geplanten **Nutzer-Terminals** sollen klein und nahezu überall anzubringen sein. Dort, wo kein Stromnetz vorhanden ist, sollen sie solarbetrieben werden. Ihre eingebauten **LTE-Standards (Long Term Evolution)**, 3G, 5G und W-LAN ermöglichen auch mobilen Nutzern den Zugriff. Das Netzwerk soll neben stationären Empfängern auch Schiffe, Flugzeuge, Züge und Ölplattformen mit Internet versorgen können – ohne Netzabbruch und Verzögerungen.

Kampf gegen Weltraumschrott

OneWeb ist nicht das einzige Unternehmen, das dabei ist, Satelliteninternet in erdnahen Umlaufbahnen zu etablieren. Neben Satellitenbetreibern wie *Viasat, Eutelsat, Intelsat* und *Inmarsat* ist vor allem das US-amerikanische Unternehmen **SpaceX** größter OneWeb-Konkurrent. Auch SpaceX will in diesem Jahr mit dem Start mehrerer seiner bis zu 12.000 geplanten Satelliten für sein Starlink-Angebot beginnen. Ziel von *Starlink* ist es ebenfalls, konstanten Zugriff auf das Internet aus dem Orbit weltweit anzubieten. Aktuell befinden sich zwei Testsatelliten im All.

Die US-amerikanische Aufsichtsbehörde **Federal Communications Commission (FCC)** überarbeitet angesichts solcher Massen an Satelliten derzeit ihre **Richtlinien**, um Kollisionen im Weltall auszuschließen. So könnten Satellitenbetreiber bald dazu verpflichtet werden, Satelliten nach Ablauf ihrer Lebensdauer aus dem Orbit zu holen. **Weltraummüll** ist ein steigendes Risiko für aktive Satelliten und Raumfahrtmissionen. Durch ausgediente Satelliten oder Teile von Raketen steigt die Anzahl dieser unkontrollierbaren Trümmer insbesondere in den niedrigen Erdumlaufbahnen. Selbst Einschläge kleinster Trümmerteile können dafür

sorgen, dass ein Satellit ausfällt oder sogar zerschlagen wird und weitere Trümmer erzeugt, die zu einer unkontrollierbaren Kettenreaktion führen können.

Nach eigenen Angaben hat sich OneWeb mit diesem Problem von Anfang an auseinandergesetzt. **Ausgediente Satelliten** sollen so gelenkt werden, dass sie **innerhalb weniger Jahre** in die Erdatmosphäre eintreten und dort vollständig **verglühen**. Die Satelliten sind mit mehreren GPS-Trackern ausgestattet, die es möglich machen sollen, sie immer im Auge zu behalten. Schwierig wird es allerdings, wenn unerwartet Trümmerteile die Bahn eines Satelliten kreuzen. Die OneWeb-Satelliten haben aufgrund ihrer minimalistischen Bauweise nur einen sehr geringen Antrieb, der schnelle Ausweichmanöver unmöglich macht. Ein unerwarteter Einschlag könnte somit weitreichende Folgen haben.

Wie gut die Qualität des Weltraum-Internets sein wird und ob es wirklich gelingt, alle Regionen der Erde mit schnellem und auch günstigem Internet zu versorgen, bleibt abzuwarten. Auch die Zusammenarbeit mit den Telekommunikationsunternehmen ist noch nicht im Detail geklärt. Entscheidend wird zunächst sein, wer den „Wettlauf“ um das neue Satelliten-Internet aus dem All gewinnt und ob es gelingt, die Masse an Satelliten im Orbit zu platzieren. 2020 will OneWeb erste Tests für Kunden durchführen. Dann wird sich zeigen, wie erfolgreich das Vorhaben sein kann. ●

*Alisa Griebler
Caroline Latz*

Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR)

Wo kein Kabel hinführt

Satellitenkommunikation auf hoher See



2019 ist es eine Selbstverständlichkeit, von überall mit dem Handy andere Menschen erreichen zu können und dabei gleichzeitig noch im Internet zu surfen. Vor genau 30 Jahren sah das noch ganz anders aus. 1989 fanden die ersten mobilen Satellitentelefone gerade einmal ihren Weg auf das Festland. Vorher wurden sie nämlich nur auf hoher See eingesetzt, dort, wo das Kabelnetz nicht hinführt. Auch heute noch ist der Bedarf an Satellitenkommunikation auf dem Meer groß – und wächst stetig. Denn Schiffsbesatzungen und Reisende verlangen auch bei Seereisen nach Empfang für Telefonate, Internet und Fernsehen.

Obwohl das durch die Satellitentechnologie bereitgestellte maritime Breitbandnetz noch nicht mit der Entwicklung der Konnektivität auf dem Land Schritt halten kann, gab es in den letzten Jahren eine Reihe positiver technischer Entwicklungen. Denn noch vor gut zehn Jahren wurde die Satellitenkommunikation hauptsächlich für Wetteraktualisierungen und Notrufe verwendet – mit exorbitant hohen Kosten pro Kilobit. Heute besteht die Herausforderung darin, gleich mehreren tausend Gästen und der Schiffsbesatzung auf einem Kreuzfahrtschiff ein **Hochgeschwindigkeits-Internet** zu bieten. Das zeigt, wie schnell sich der Wandel vollzieht und auch vollziehen muss.

In erster Linie sind es die **Satellitenbetreiber**, die auf diese Entwicklung reagieren müssen. Sie haben in den letzten Jahren bereits viel in neue Technologien investiert: Die Satelliten haben immer höhere Kapazitäten, das ursprünglich militärisch genutzte **Ka-Band** wurde auch für die kommerzielle Nutzung adaptiert und **HTS** wurde eingeführt (**High-Throughput-Satelliten** haben einen wesentlich höheren Gesamtdurchsatz verglichen mit den klassischen Kommunikationssatelliten). In Kürze sollen außerdem **MEO (Medium Earth Orbit)**- und **LEO (Low Earth Orbit)**-Satelliten den Markt weiter aufmischen und der maritimen Gemeinschaft ungeahnte Möglichkeiten eröffnen. Durch ihre Nähe zur Erde ermöglichen sie geringere Übertragungszeiten. Noch befinden sich



Bild: EPAK GmbH

Ein größerer Antennenreflektor ermöglicht eine bessere Empfangsqualität

die meisten Kommunikationssatelliten im geostationären Orbit, knapp 36.000 Kilometer über der Erdoberfläche, wo sie sich mit der Erdrotation bewegen.

Gleichzeitig müssen auch die **Antennenhersteller** dazu beitragen, die Bandbreite für Schiffe zu erhöhen. Sie arbeiten kontinuierlich an der Verbesserung der Antenneneffizienz und entwickeln Hochfrequenz-Komponenten, Tracking-Algorithmen sowie die Elektronik weiter. Wer genau hinschaut sieht, dass sich in den letzten Jahren die Reflektoren (die umgangssprachlichen Satellitenschüsseln) deutlich vergrößert haben. Weniger ersichtlich aber hör- und spürbar ist, dass auch die Leistung der Frequenzumwandler (**Block-Up-Converter, BUC**, die das abgegebene Signal auf die endgültige Sendefrequenz umsetzen) deutlich zugenommen hat. Vor zwei Jahren lag ein Standard-BUC für eine Ku-Band-Antenne zwischen vier und acht Watt. Heute liegt die Standardkonfiguration bei 16, 25 oder 40 Watt. Die erhöhte Leistung sorgt zum Beispiel für eine erhöhte Upload-Kapazität.

Der wachsende Bedarf nach immer höheren Datenraten bei gleichzeitig sinkenden Kosten macht heute und zukünftig den Einsatz hocheffizienter Satellitenkommunikations-Endgeräte auf Wasserfahrzeugen erforderlich, sodass die Entwicklung immer weiter vorangetrieben wird.

Datenübertragung zu einem sich bewegenden Ziel

Je nach Anwendung sind die **Antennen** auf den Schiffen für Ein-Weg- (nur Empfang, zum Beispiel für Fernsehen) oder Zwei-Weg-Satellitenverbindungen (Empfang und Senden für Internet) eingerichtet. Sobald sich das Schiff bewegt, müssen sich die Antennen kontinuierlich **nach dem Satelliten ausrichten**. Diese automatisch nachführenden Antennen sind das Ergebnis von komplexen Entwicklungsprozessen, bei denen fachübergreifende Kompetenzen aus den Bereichen Hardware- und Softwareentwicklung zusammen kommen. Das bewegte Terminal muss dazu auf einen circa 36.000 Kilometer entfernten Satelliten ausgerichtet und die Verbindung gehalten werden. Weicht die Ausrichtung der Antenne um mehr als 0,2 Grad vom Satelliten ab, kann die Verbindung bereits fehlschlagen. Für den Nutzer an Bord bedeutet dies ein unterbrochenes Fernsehsignal bzw. eine Unterbrechung der Internetverbindung.



Bild: Jeff Brown

Egal ob Kreuzfahrtschiff, Yacht oder Fähre – das Bedürfnis an zusätzlicher Bandbreite steigt auch auf hoher See

Ein rollendes, gierendes und stampfendes Schiff auf See stellt eine äußerst schwierige dynamische Umgebung dar, um diese exakte Ausrichtung aufrecht zu halten. Zum Ausgleich der Schiffsbewegungen benötigen maritime Satellitenantennen eine Gyro-Stabilisierung (durch Kreiselkräfte hervorgerufener Selbststeuerungseffekt zur Lageregelung).

Darüber hinaus setzt zum Beispiel das deutsche Unternehmen **EPAK** ein patentiertes **Trackingverfahren** ein, das auf sogenannter elektronischer Strahlschwenkung basiert. Dabei werden in Echtzeit direkt aus dem Satellitenempfangssignal 80 Messungen pro Sekunde ausgewertet und Abweichungen zum Satellitenzentrum jederzeit sofort korrigiert. So können die Antennen auch bei starkem Wellengang fehlerfrei Daten senden und empfangen.

Technische Weiterentwicklung bringt höhere Geschwindigkeiten

Im Zuge der aktuellen Weiterentwicklung der Technologie des Unternehmens EPK (mit Unterstützung des DLR Raumfahrtmanagements) wurde im **mechanischen Design** der Antennen eine **zusätzliche Achse** integriert. Diese ist vor allem dann von Bedeutung, wenn der zu verfolgende Satellit relativ hoch am Himmel steht (also beim Einsatz in Äquatornähe), denn die Dreiachsenmechanik bringt **erweiterte Bewegungsfreiheit** und ermöglicht ein schnelles Nachführen auch über den Scheitelpunkt hinaus.

Bei der neuen Antennengeneration wird mithilfe komplexer mathematischer Algorithmen kontinuierlich ein Strom von Daten ausgewertet. Diese Daten kommen einerseits aus der Antenne selbst und andererseits aus einer weiteren hochauflösenden Auswertung des Satellitenempfangssignals. So kann der Antennenreflektor optimal auf den Satelliten ausgerichtet werden. Externe Koordinaten von Himmelskarten oder Helfersatelliten tragen zur weiteren Orientierung der Antenne bei, sodass die Neu- oder Wiedersuche eines Satelliten zukünftig noch schneller geht.

Signalstärke ist entscheidend für die Zuverlässigkeit der Antennen

Die Annahme „je größer desto besser“ trifft für maritime Anwendungen aus zwei Gründen zu: Je größer die Reflektorfläche, desto



Bild:EPK GmbH

Die Antennen werden mit einer Hülle, dem Radom, vor Wettereinflüssen geschützt

größer die Signalreserve und damit auch die Empfangsqualität sowie die mögliche Datenrate. Gerade bei suboptimalen Bedingungen, zum Beispiel bei schlechtem Wetter oder bei flachen Elevationswinkeln (der Elevationswinkel gibt den Winkel zwischen Erde und Satellit an), macht sich der zusätzliche Antennengewinn positiv bemerkbar. Aus diesem Grund wurde ein **Antennenreflektor** mit 130 Zentimeter Durchmesser entwickelt. Die Geometrie des Reflektors wurde hinsichtlich eines optimalen Signal- bzw. Antennengewinns optimiert. Mit dem zudem speziell auf den Frequenzbereich abgestimmten Radom (Hülle) wird weiterhin der Schutz der Antenne gegen Wettereinflüsse sichergestellt, ohne dabei eine merkliche Degradierung der Signalqualität zu verursachen. Diese exemplarisch genannte Maßnahme führt zu einer bestmöglichen Ausgestaltung der Empfangsqualität.

Antennensystemen, die wie bei Schiffen mobil unterwegs sind, bietet sich noch eine **weitere Herausforderung**: Am Rand der Ausleuchtzone von Satelliten wird das Signal – ähnlich dem Lichtkegel einer Taschenlampe – immer schwächer bis es schließlich nicht mehr ausreicht, um die Verbindung aufrecht zu erhalten. Auch hier hilft der größere Reflektor. Er sorgt dafür, dass die geographische Reichweite innerhalb eines Satellitenfootprints (Ausleuchtzone eines Satelliten) größer ist und somit auch in entlegeneren Gebieten noch sehr gute Signalqualität bietet.

Benutzerfreundlichkeit und Anbindung an das Netzwerk

Mit guten technisch-funktionellen Eigenschaften der Hardware ist es aber heute nicht mehr getan. Auch die **Handhabung der Systeme** muss dem neusten Stand der Technik entsprechen. So lassen sich die Antennen der neuen Generation via Smartphone, Tablet oder PC steuern. Über das Webinterface können umfangreiche Konfigurationen vorgenommen und Sensordaten der Antenne live ausgelesen werden. Daten zu Lage, Beschleunigung, Temperatur, Strom, Spannung und Luftfeuchtigkeit in der Antenne werden visuell dargestellt. Das erleichtert die Fehlersuche und ermöglicht eine Performance-Analyse rund um die Uhr.

Zur Ausstattung kann ebenfalls optional ein **Anschluss für eine Klimaanlage oder Heizung** vorgesehen werden, sodass bei Schiffsreisen in alle Gebiete der Welt Außentemperaturen von minus 40 bis plus 55 Grad Celsius kein Problem sind.



Bild: Pexels.com

Die Antennen müssen auch in kalten Gebieten funktionstüchtig bleiben. Dazu können sie optional mit einer Heizung ausgestattet werden.

Über die Hardware hinaus braucht es außerdem einen passenden **Datenservice**, der es Crew und Gästen erlaubt, überall auf den Weltmeeren Kontakt über Internet zum Rest der Welt herzustellen. Bei Schiffen mit einer großen Anzahl von Passagieren ist zudem eine Lösung für die Verwaltung der verfügbaren Bandbreite notwendig. Das bedeutet beispielsweise, dass technische Anwendungen, wie die Überwachung der Schiffssicherheit, Vorrang vor Gästen haben muss, die die Bandbreite für die soziale Kommunikation nutzen wollen. Ein solches Netzwerkmanagement von Schiffen kann auch IT-Sicherheitssysteme, WLAN-Hotspots oder die Bereitstellung von VoIP-Telefonie mit lokalen SIM-Karten beinhalten. Die Systeme müssen also im Hinblick auf die Kompatibilität und Anbindung an neue Anwendungen stetig erweitert werden.

Zukunftsperspektive

Die kontinuierliche Weiterentwicklung durch Forschung ist wichtig, um punktgenaue Lösungen für Yachten, Plattformen, Marineschiffe, Fähren sowie zahlreiche andere Bereiche der maritimen Schifffahrt zu ermöglichen. Neben den erwähnten Entwicklungen laufen darüber hinaus diverse weitere Vorhaben, die auch im landmobilen Bereich hochprofessionelle Antennentechnik auf Dauer möglich machen sollen. Bei dem steigenden

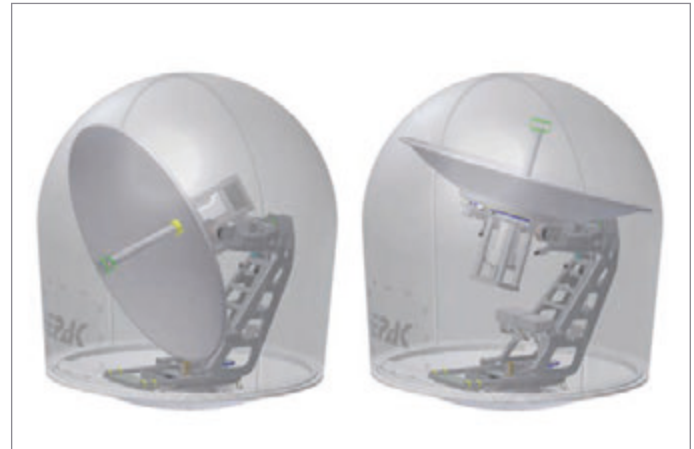


Bild: EPAC GmbH

Die EPAC-Antennen sind mit einer Dreiachsmechanik für eine erweiterte Bewegungsfreiheit ausgestattet

Bedürfnis an zusätzlicher Bandbreite und Applikationen ist Deutschland in diesem Segment bestens platziert. ●

Dr. Siegfried Voigt
DLR Raumfahrtmanagement
Jochen Grüner
EPAK

06. Juni 2019, Berlin

Digital Aviation Conference

www.digitalaviation.de | #digiav19



Anzeige

2. bis 4. September 2019 in Berlin

DGLR-Weiterbildung

„Auslegung und praktische Umsetzung von Flugregelung für unbemannte Flächenflugzeuge“

Bild: IFSys



UAS Alexis des Fachgebiets Flugmechanik, Flugregelung und Aeroelastizität der Technischen Universität Berlin

Gibt man das Wort „Drohne“ in die Bildersuche ein, tauchen vor allem Multikopter auf dem Bildschirm auf. Sowohl im Hobby- als auch im professionellen Bereich haben diese unbemannten Fluggeräte (**UAS – Unmanned Aerial System**) in den letzten Jahren stark an Popularität gewonnen, da sie besonders einfach zu handhaben sind. Die Steuerung von unbemannten Flächenflugzeugen ist hingegen deutlich anspruchsvoller und meist

nur für geübte Piloten möglich. Im wissenschaftlichen und kommerziellen Umfeld wird daher oft auf den Einsatz von Flächenflugzeugen verzichtet.

Um diesen Nachteil wettzumachen, können kleine unbemannte Flächenflugzeuge mit einem Flugregelungssystem ausgestattet werden. Der Weiterbildungskurs „Auslegung und praktische Umsetzung von Flugregelungen für unbemannte Flächenflugzeuge“ der *Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR)* behandelt die Auslegung von Flugreglern für verschiedene Betriebsmodi und erläutert deren praktische Umsetzung mit Standard-Hardware.

Nach dem Besuch des Kurses, der vom 2. bis 4. September 2019 in Berlin stattfindet, sind die Teilnehmer in der Lage, Flächenflugzeuge mit Flugreglern zu betreiben und damit das Potenzial dieser Drohnen vollständig auszunutzen. Mit Flugregelungssystemen lassen sich die Flugeigenschaften signifikant verbessern und die Steuerung dieser Drohnenklasse wird einfacher.

Unbemannte Flächenflugzeuge sind wichtig, um zum Beispiel innovative Konzepte für Flugzeuge oder deren Systeme zu entwickeln und diese im Flugversuch zu testen. Hier stellt ein kleinskaliertes unbemanntes Flugzeug eine kostengünstige

Alternative zum konventionellen Flugversuch dar. Auch für bestimmte Einsätze, wie zum Beispiel die Kartografie oder Überwachung großer Flächen sind Flächenflugzeuge besser geeignet als Multikopter, da ihre dynamische Auftriebserzeugung weniger Schub benötigt und so mit gleicher Batteriekapazität längere Flugzeiten möglich sind.

Das Weiterbildungsangebot richtet sich vor allem an Ingenieure und Informatiker, die unbemannte Flächenflugzeuge betreiben und durch die Verwendung von Flugreglern die Flugeigenschaften verbessern oder automatisch Wegpunkte abfliegen möchten.

Der dreitägige Kurs basiert auf dem Buch „*Small Unmanned Aircraft – Theory and Practice*“ von Randal W. Beard und Timothy W. McLain, sowie auf den Erfahrungen des Dozenten Dr. Alexander Köthe, der in den letzten Jahren Flugregelungen für unbemannte Flächenflugzeuge in verschiedenen Projekten erfolgreich umsetzen konnte und den Weiterbildungskurs leitet. Der Kurs bietet einen ausgewogenen Mix aus Theorie und Praxis, wobei die praktische Anwendung im Fokus steht. Für den modellbasierten Entwurf kommt das freizugängliche Tool „Scilab/XCOS“ zur Anwendung. Die erlernten Fähigkeiten können problemlos auf das kommerzielle Tool „Matlab/Simulink“ übertragen werden.

Bild: Alexander Köthe



Dr. Alexander Köthe

Lerninhalte und Ziele

Flugregelungen werden modellbasiert ausgelegt. Deshalb sind die **Modellierung der Flugdynamik** und der **Aufbau einer Flugsimulation** der erste, essenzielle Bestandteil des Weiterbildungskurses. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf der Beschreibung der aerodynamischen Kräfte. Zur Auslegung der Flugregler wird das nichtlineare Modell der Flugdynamik linearisiert und analysiert. Anschließend werden Sensoren und Aktuatoren in das Modell integriert, wobei Messfehler und Verfahren zu deren Abminderung besprochen werden. Die erlernten Modellierungs- und Analyseverfahren können auf beliebige Flugzeuge angewendet werden und stellen den Ausgangspunkt jeder Flugregelung dar.

Die Aufgaben von Flugreglern können sich für verschiedene Anwendungsfälle unterscheiden. Um für jeden Anwendungsfall die richtige Struktur zu wählen, wird im ersten Schritt allgemein der **Aufbau des Flugregelungssystems** beschrieben. Anschließend werden **Regler zur Verbesserung der Flugeigenschaften** präsentiert. Mit diesen einfachen Ansätzen ist es bereits möglich, unbemannte Flugzeuge auch von weniger geübten Piloten fliegen zu lassen. In einem weiteren Schritt werden **Basis-Autopiloten** vorgestellt. Dabei werden mit der Funk-Fernbedienung keine Stellsignale für den Motor oder die Servo-

Motoren mehr vorgegeben, sondern Flugparameter wie Hängewinkel, Längslagewinkel oder Roll- und Nickrate. Diese Autopiloten sollen anschließend als Grundlage für den Navigationsregler genutzt werden, der das Abfliegen von vorprogrammierten oder über eine Bodenstation zum Flugzeug übertragenen Wegpunkten ermöglicht. Hier ist es wichtig, den Unterschied zwischen automatischen und autonomen Systemen zu kennen. Da besonders in Deutschland strenge Vorschriften zur Nutzung von Drohnen gelten, geht der Kurs auch auf **rechtliche Aspekte** ein.

Der modellbasierte Entwurf von Flugreglern wird mittels des Modellierungstools „**Scilab/XCOS**“ durchgeführt. Für den praktischen Einsatz braucht es eine Hardwareplattform. Die ausgelegte Flugregelung muss schließlich in Software übersetzt werden, die auf der Zielplattform lauffähig ist. Im Kurs werden **verschiedene Hardwaresysteme** vorgestellt, die eine Interaktion der Software zu unterschiedlichen Sensoren und Stellgliedern ermöglichen. Zudem lernen die Teilnehmer, wie sie das Modell **codieren**, damit es auf der Zielplattform problemlos läuft. Der letzte Abschnitt des Kurses steht im Zeichen der **Interaktion mit einer Bodenstation**.

Für den gesamten Kurs wird ein **RC-Modell** als Anwendungsfall verwendet, das auch vor Ort vorhanden ist und dieses Weiterbildungsangebot besonders anschaulich

und praxisorientiert macht. Nach Abschluss des Kurses sind Teilnehmer in der Lage, die Lerninhalte selbstständig auf ihren Anwendungsfall zu adaptieren. Durch theoretische Ausblicke und Empfehlungen zu weiterführender Literatur können sie ihr Wissen anschließend im **Selbststudium** erweitern und so neue Anwendungsfälle für sich entdecken. ●

KONTAKT

Informationen und Anmeldung unter www.weiterbildung.dglr.de

Für aktuelle Nachrichten und Informationen zu neuen Seminaren abonnieren Sie unseren Weiterbildungsnewsletter unter weiterbildung@dglr.de

Ansprechpartnerin

Haben Sie Fragen zu den Kursinhalten oder möchten Sie uns Ihre spezifischen Bedarfe nennen? Dann rufen Sie uns an oder senden uns eine E-Mail:

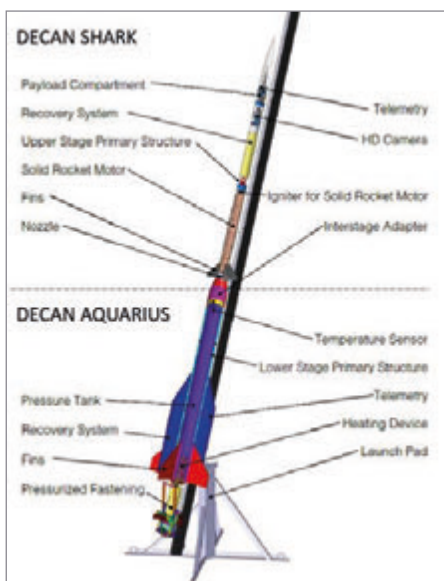
Denitsa Nikolova
Weiterbildungsmanagerin
Tel.: +49 228 28615729
E-Mail: weiterbildung@dglr.de



UAS Alexis im Landeanflug

DGLR-Nachwuchsgruppe AQUARIUS entwickelt Höhenraketen an der TU Berlin

Bilder: TU Berlin



Die zweistufige DECAN-Rakete mit DECAN-AQUARIUS als Unterstufe und DECAN-SHARK als Oberstufe

Seit über 27 Jahren werden an der *Technischen Universität Berlin* Höhenraketen von Studierenden entwickelt und gestartet. Sie sind seit vielen Jahren fester Bestandteil der Lehre am *Institut für Luft- und Raumfahrt*. Zusätzlich können Studierende und Alumni an der TU im Rahmen des eingetragenen Vereins *AQUARIUS* an der Entwicklung von Höhenraketen mitwirken. Der Verein wird als offizielle Nachwuchsgruppe von der *Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR)* gefördert.

Derzeit arbeiten die Studierenden und Mitarbeiter der TU Berlin an der zweistufigen Höhenforschungsrakete *DECAN (Deutsche CanSat-Höhenrakete)*. Nach Abschluss der Qualifikation soll sie kleine Nutzlasten (sogenannte *CanSats*) in eine Höhe von circa sieben Kilometern transportieren können. Ziel ist es, die Studierenden an die Entwicklung von Trägerraketen heranzuführen. Hierfür lernen sie, die Auslegung und Konstruktion der Subsysteme von Höhenraketen und deren anschließende Integration und Testläufe unter professioneller Anleitung und in Anlehnung an die Industriestandards durchzuführen. *DECAN* besteht aus einer **Feststoff-Oberstufe** und einer **Heißwasser-Unterstufe**. Den Anstoß für die Entwicklung der beiden Stufen bot das nationale *STERN-Programm (Studentische*

Experimental-Raketen) des *Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR)*, das von 2012 bis 2017 die Arbeiten förderte.

Unterstufe DECAN-AQUARIUS

Die Unterstufe wird mit einem umweltfreundlichen Heißwassertriebwerk angetrieben. Bei ihrer Entwicklung konnte auf die jahrelangen Erfahrungen von *AQUARIUS* zurückgegriffen werden. Der **Antrieb** arbeitet ausschließlich mit Wasser als Treibstoff, das innerhalb eines vom TÜV geprüften Druckbehälters mittels Heizstäben erhitzt wird. Der **Tank** besteht aus einem geeigneten warmfesten Edelstahl und wird mittels feuerfestem Schaumstoff isoliert. Darüber hinaus verfügt der **Druckbehälter** über Temperatursensoren

und Sicherheitsvorrichtungen, sodass der Heizprozess jederzeit vollständig überwacht werden kann. Durch das Aufheizen und Verdampfen des Wassers innerhalb des geschlossenen Behälters baut sich der gewünschte Ladedruck auf. Bei einer Temperatur von circa 270 Grad Celsius und einem Druck von circa 50 Bar ist der Startzustand erreicht. Nun wird der Düsenverschluss freigegeben, das Wasser kann entweichen und verdampfen, was zu einer starken Volumenexpansion des Treibstoffs führt.

Die Unterstufe verfügt über ein **Telemetrie-subsystem**, das die Flugdaten in Echtzeit an die Bodenstation sendet. Über diese Telemetrieinheit wird auch der Auswurf des zweistufigen Fallschirmsystems gesteuert. Die Telemetrie erkennt die Gipfelhöhe automatisch und der Aktuator aktiviert das Bergungssystem. Dieses Zusammenspiel von Telemetrie und Aktuatorik hat sich im **hauseigenen Windkanal** erfolgreich für den Flug qualifiziert. Um neue Technologien im Rahmen der Forschung und Lehre einzubinden, wurden einzelne Teile im **3D-Druckverfahren** hergestellt.

Die **Gipfelhöhe** der 2017 zum ersten Mal gestarteten Unterstufe liegt bei circa 1.200 Metern. Die somit vollständig im sichtbaren Bereich stattfindende Flugbahn ermöglicht eine deutlich einfachere Optimierung der Höhenrakete. Ein weiterer Start der *DECAN-AQUARIUS* soll im dritten Quartal 2019 erfolgen. Parallel wird ein **Teststand** zur Bestimmung und Optimierung der Schubprofile entwickelt, um Forschung und Lehre am Fachbereich auszubauen.

	DECAN-AQUARIUS	DECAN-SHARK
Startmasse	90 kg	23 kg
Trockenmasse	60 kg	15 kg
Treibstoffmasse	30 kg (Wasser)	8 kg (Feststoff)
Höhe	2,5 m	3 m
Durchmesser	0,2 m	0,1 m
Durchschnittlicher Schub	3.000 N	3.000 N
Aktionszeit des Antriebs	4 s	7 s
Gipfelhöhe	1.200 m	5.500 m – 5.700 m
Aufstiegszeit	19 s	40 s

Leistungsparameter der DECAN-AQUARIUS und DECAN-SHARK



Windkanaltest des Bergungssystems der DECAN-AQUARIUS an der TU Berlin



Start der DECAN-AQUARIUS am 31. März 2017 auf dem Testgelände der Bundeswehr in Kletitz



Start der DECAN-SHARK in Kiruna

Bilder: Technische Universität Berlin

Oberstufe DECAN-SHARK

Die circa 23 Kilogramm schwere Oberstufe DECAN-SHARK wird von einem leistungsstarken **Feststoffmotor** angetrieben. Der Motor wurde auf einem von den Studierenden entwickelten und gebauten **Prüfstand** in den Testanlagen des DLR in Trauen erprobt und für die Integration und den Flug qualifiziert. In zwei Testläufen wurden Schübe von etwa 3.000 Newton bei einer Brenndauer von circa sieben Sekunden erreicht.

Darüber hinaus verfügt die DECAN-SHARK bereits über ein **Nutzlastkompartiment**, aus dem ein CanSat ausgeworfen werden kann. Das **Bergungssystem** der Stufe besteht aus zwei Fallschirmen, einem Bremsfallschirm und einem Hauptfallschirm. Der Bremsfallschirm wird kurz nach Erreichen der Gipfelhöhe ausgeworfen, bremst die Rakete ab und ermöglicht das Sinken der Rakete mit einer definierten Geschwindigkeit. 500 Meter über dem Boden wird der Hauptfallschirm ausgelöst und bremst die Rakete soweit ab, dass sie bei der Landung keinen Schaden erfährt. Der **Raketomotor** ist in die röhrenförmige Struktur der Rakete verbaut, an der sich auch die Flossen für die Steuerung befinden. Aufgrund der relativ hohen Gipfelhöhe wurden spezielle Sender, sogenannte *Beacons*, in die Flossen integriert, damit die Rakete nach der Landung wiedergefunden werden kann.

2015 wurde die Oberstufe zwei Mal im schwedischen *Kiruna* gestartet und erreichte dabei Gipfelhöhen von circa 5,7 Kilometern und Geschwindigkeiten von circa 400 Metern pro Sekunde (Mach 1,2). Bei diesen Starts wurde wegen der besonderen Sicherheitsbestimmungen der Startrampe in Kiruna ein eigenes mechanisches **Sicherheitssystem**, ein sogenanntes „Safe and Arm Device“, entwickelt und erfolgreich eingesetzt. Derzeit werden noch weitere Steigerungen der Gipfelhöhe, zum Beispiel durch den

Einsatz von 3D-gedruckten Strukturelementen, untersucht.

Testrakete DECAN-X

Um die Telemetrie-Subsysteme der Stufen möglichst realitätsnah zu erproben, wurde eigens eine kleinere **Testrakete**, die DECAN-X, entwickelt, gefertigt, qualifiziert und mehrfach geflogen. Der Feststoffmotor der Rakete entwickelt circa 700 Newton Schub und befördert diese in eine Höhe von circa 550 Metern. Während der beiden Testflüge der wiederverwendbaren DECAN-X wurde die Telemetrie erfolgreich erprobt und qualifiziert: Die gewünschten Daten, wie zum Beispiel Geschwindigkeit und Höhe wurden erfolgreich aufgenommen und zur Bodenstation gesendet, der Fallschirm wie geplant ausgeworfen, die Position der Rakete wurde mittels GPS bestimmt und an die Bodenstation übermittelt.

Ziel: Zweistufiger Flug und CanSat-Mission

Nach der erfolgreichen Vorentwicklung der ersten Test- und Engineeringmodelle der beiden Stufen innerhalb des DLR-STERN-Projekts liegt der Fokus nun auf der **Weiterentwicklung der Subsysteme** zu zuverlässigen Flugmodellen, um anschließend die Zweistufigkeit realisieren zu können. Die Startmasse des zweistufigen Systems wird bei circa 150 Kilogramm liegen. Die Gipfelhöhe wurde auf circa sie-

ben Kilometer berechnet, in der wiederum ein CanSat ausgeworfen werden kann. Derzeit arbeiten die Studierenden unter anderem an der **Trennung der beiden Raketenstufen**. Diese Stufentrennung muss allerdings noch den Qualifikationstests unterzogen werden.

Seit 2017 wurde die Unterstufe weiter optimiert und erprobt. Einen kritischen **Systemtest**, bei dem die Rakete auf Dichtigkeit am Arbeitspunkt untersucht wurde, bestand sie im Oktober 2018 erfolgreich. Für Sommer/Herbst 2019 ist daher ein weiterer Raketenstart vorgesehen.

Derzeit engagieren sich elf Studierende und drei Alumni in der Nachwuchsgruppe AQUARIUS. **Interessierte** können sich per E-Mail bei Projektleiter **Robert Lippmann** (R.Lippmann@tu-berlin.de) melden. Besonderer **Dank** des DECAN-Teams für die großartige Unterstützung des Vorhabens geht an *Aerospace Institute*, *Astos Solutions*, die *Bundesanstalt für Materialforschung (BAM)*, die *deutsche Bundeswehr*, die *DGLR*, das *DLR*, die *Flugschule Hochries*, die *Fraunhofer-Gesellschaft*, das *Institut für Luft- und Raumfahrt der TU Berlin*, den *TÜV* und die Teammitglieder von AQUARIUS. Das Projekt (Förderkennzeichen: 50 RL1251) wird durch das *Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)* aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. ●

Dipl.-Ing. Robert Lippmann
Dr.-Ing. Harry Adirim
Technische Universität Berlin



DECAN-Team beim Aufheiztest der DECAN-AQUARIUS in Kletitz

Bild: Technische Universität Berlin

Vorausschauende Flugbahnregelung für Kippflügelflugzeuge

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

Zusammenfassung

Hybride Flugzeugkonfigurationen, zum Beispiel die **Kipprotor- oder Kippflügelkonfiguration**, sind in vielen Anwendungsbereichen ziviler unbemannter Luftfahrtsysteme, beispielsweise im Bereich der *Urban Air Mobility*, von großem Interesse. Der vom Schwebeflug bis zum schnellen Vorwärtsflug reichende Geschwindigkeitsbereich solcher Fluggeräte bedingt eine signifikante, flugzustandsabhängige Variation ihrer flugmechanischen Eigenschaften. Bei der Automatisierung der Flugführung führen diese Variationen zu besonderen Herausforderungen im Bereich der Flugzustands- sowie der Bahnregelung.

Dieser Artikel beschreibt eine **neuartige Methode zur Bahnregelung von Kippflügelflugzeugen**, die im Rahmen einer Doktorarbeit am *Institut für Flugsystemdynamik der RWTH Aachen* entwickelt wurde. **Kernstück** der Methode ist eine während des Flugs durchgeführte, vorausschauende Planung von zukünftigen Flugzustandsverläufen. Die Planung erfolgt im Hinblick auf die vorausliegende Flugbahngeometrie, die aktuelle Windsituation und die flugmechanischen Grenzen des Fluggeräts und erlaubt auch unter Störeinflüssen eine präzise Bahnfolge entlang beliebig geformter Flugbahnen.

1. Einleitung

Zivile unbemannte Luftfahrtsysteme gehören zu den besonders zukunftsweisen Themenfeldern in der Luftfahrt. Die durch einen hohen Automatisierungsgrad des Flugbetriebs erreichten Wirtschaftlichkeitssteigerungen lassen erwarten, dass innerhalb dieses Themenfeldes viele neue Anwendungen für Luftfahrtsysteme

erschlossen werden können. Eine große Zahl der hier bisher eingesetzten Fluggeräte sind **Multikopter**. Vorteile dieses Fluggerätetyps sind eine sehr geringe Systemkomplexität und die Möglichkeit, den Flug mithilfe vergleichsweise einfacher Regelungssysteme zu automatisieren. Da Multikopter durch bauartbedingte Einschränkungen bezüglich ihrer Flugeschwindigkeit und Reichweite für viele Anwendungen nicht geeignet sind, konzentrieren sich aktuellere Entwicklungen auf **hybride Flugzeugkonfigurationen**, zum Beispiel **Kipprotor- oder Kippflügelflugzeuge**. Diese Flugzeugkonfigurationen erweitern die klassische Starrflügelkonfiguration durch verschiedene Modifikationen um die Fähigkeit, Starts und Landungen senkrecht auszuführen.

Die gegenüber Multikoptern **deutlich verbesserten Flugleistungen** werden bei hybriden Fluggeräten mit einer erhöhten Systemkomplexität erkauft. Darüber hinaus führt bei diesen Fluggeräten der große Geschwindigkeitsbereich vom Schwebeflug bis zum schnellen Vorwärtsflug zu einer signifikanten Variation flugmechanischer Eigenschaften und damit zu einem höheren Aufwand bei ihrer Automatisierung. In der Literatur werden diese flugmechanischen Variationen meist auf der Ebene eines **Flugzustandsreglers** behandelt. Beispielsweise finden sich Regler mit flugzustandsabhängigen Verstärkungen (engl. *Gain-Scheduling*) oder nicht-lineare Regler, die eine Flugzustandsregelung im vollständigen Flugeschwindigkeitsbereich ermöglichen [1, 2, 3]. Auf Ebene der **Bahnregelung** sind bisher nur wenige Ansätze beschrieben. Bekannte Ansätze erlauben eine Bahnführung nur in Teilen des Flugeschwindigkeitsbereichs oder nur mit deutlichen geometrischen Einschränkungen bei der Gestaltung der Flugbahn [4, 5, 6]. Diese Einschränkungen sind gerade deshalb unbefriedigend, da durch die Anwendungsgebiete der Fluggeräte, zum Beispiel im urbanen Raum, häufig viele Randbedingungen an die Gestaltung der Flugbahn gestellt werden und hybride Fluggeräte durch ihren weiten Geschwindigkeitsbereich prinzipiell auch geometrisch beliebig geformten Flugbahnen folgen können.



Abb. 1: Kippflügelfluggerät im Flug bei verschiedenen Flugeschwindigkeiten

Die im Folgenden vorgestellte Methode zur Bahnregelung kommt ohne geometrische Einschränkungen der Flugbahn aus und erlaubt einen automatisierten Flugbetrieb im vollständigen Geschwindigkeitsbereich hybrider Fluggeräte. Die wesentliche Neuerung des Flugbahnreglers besteht in einer Funktionsweise, die sich durch eine vorausschauende Planung des zur Bahnfolge nötigen Flugzustandsverlaufs auszeichnet. Der Bahnregler berücksichtigt bei dieser Planung sowohl die flugmechanischen Grenzen des Fluggeräts, die aktuelle Windsituation sowie die Geometrie des vorausliegenden Bahnabschnitts. Die Methode wurde anhand eines Kippflügelflugzeugs mit einer Abflugmasse von 15 kg (Abb. 1) evaluiert, eignet sich aber grundsätzlich auch für andere hybride Flugzeugkonfigurationen.

2. Methode der vorausschauenden Planung

Aus der Aufgabe, das Fluggerät auf einer Bahn zu führen, ergeben sich für die Bahnregelung zwei Teilaufgaben. Zum einen muss die inertielle Geschwindigkeit gegenüber der Erde jederzeit parallel zur momentanen Bahnrichtung eingestellt werden, zum anderen muss das Kräftegleichgewicht so beeinflusst werden, dass die zur Bahnfolge nötigen Beschleunigungen erzeugt werden (Abb. 2). Zur Erfüllung dieser Aufgaben ist der Bahnregler in eine Kaskadenregelung mit unterlagerter Flugzustandsregelung eingebettet (Abb. 3). Über den Flugzustandsregler kann der Bahnregler die Fluggeschwindigkeit gegenüber der Luft, den Azimut sowie körperfeste Beschleunigungen vorgeben. Der Flugzustandsregler kapselt somit die unmittelbaren flugmechanischen Variationen, die mit den Fluggeschwindigkeitsänderungen einhergehen (zum Beispiel Ruderwirksamkeiten, siehe auch [2, 7]).

Wie Abb. 2 zeigt, beeinflusst der Wind die resultierende inertielle Geschwindigkeit. Bei Starrflügelflugzeugen ist die Fluggeschwindigkeit typischerweise deutlich größer als die Windgeschwindigkeit. Daher kann die Wirkung des Windes durch eine kleine Flugzustandsanpassung, zum Beispiel einem kleinen Vorhaltewinkel, kompensiert werden. Bei Kippflügelflugzeugen kann die Fluggeschwindigkeit jedoch auch von gleicher Größenordnung oder kleiner als die Windgeschwindigkeit sein. Die Annahme, dass kleine Windänderungen oder

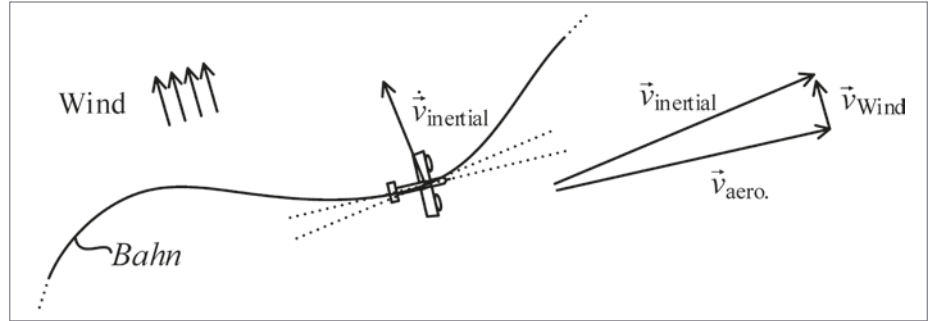


Abb. 2: Geschwindigkeiten beim Flug entlang einer Bahn

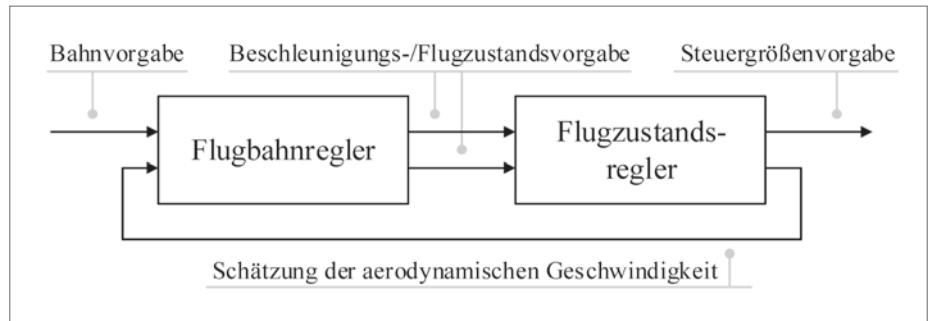


Abb. 3: Aufbau des Bahnregelungssystems

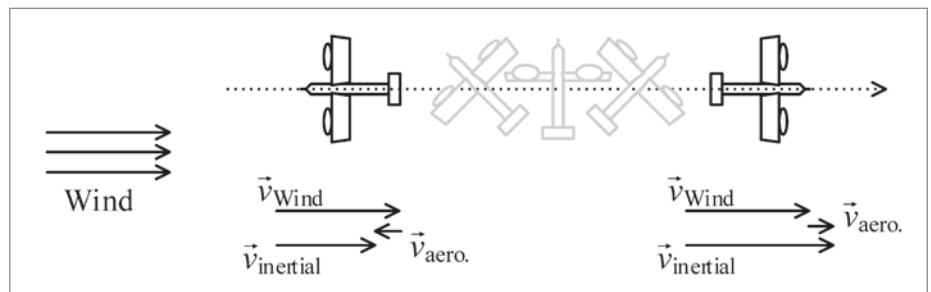


Abb. 4: Flugzustandsänderung infolge einer kleinen Änderung der Bahngeschwindigkeit

kleine Änderungen der Bahnrichtung bzw. Bahngeschwindigkeit durch kleine Flugzustandsänderungen umsetzbar sind, ist daher für Kippflügelflugzeuge nicht zulässig.

Abb. 4 zeigt eine Situation, bei der eine kleine Änderung der Bahngeschwindigkeit (von $V_{inertial} < V_{Wind}$ zu $V_{inertial} > V_{Wind}$) eine große Anpassung des Azimuts erfordert. Bei der in Abbildung 4 gezeigten Windrichtung, exakt in Bahnrichtung, ist der Zusammenhang zwischen Bahngeschwindigkeit und Azimut sogar unstetig. Vergleichbare Situationen kommen beim Betrieb von Kippflügelflugzeugen regelmäßig, zum Beispiel bei der Beschleunigung vom Schwebeflug in den schnellen Vorwärtsflug, vor. Gleichzeitig führen flugmechanische Begrenzungen dazu, dass die Flugzustandsregelung nur begrenzte Änderungsraten aller Flugzustände erlaubt. Für die gezeigte Änderung der Bahnge-

windigkeit muss also ausreichend Zeit eingeplant werden, was bei der Bahnführung explizit berücksichtigt werden muss.

Bei der Bahnführung von Starrflügelflugzeugen ergeben sich aus der Mindestfluggeschwindigkeit Beschränkungen für die mögliche geometrische Form der Bahn. So ist beispielsweise bei gegebenem maximalen lateralen Lastvielfachen der minimale Kurvenradius begrenzt. Durch die Möglichkeit zur freien Wahl der Fluggeschwindigkeit bei Kippflügelflugzeugen unterliegt die Bahnfolge hier zunächst keinen Einschränkungen. Mit ausreichend kleiner Fluggeschwindigkeit kann geometrisch beliebig geformten Flugbahnen gefolgt werden. Allerdings soll im Allgemeinen ein Flug auch mit höheren Geschwindigkeiten erfolgen. Der vorgestellte Bahnregler plant daher den Bahngeschwindigkeitsverlauf so, dass der Flug möglichst schnell, aber unter Einhaltung dynamischer Randbedin-

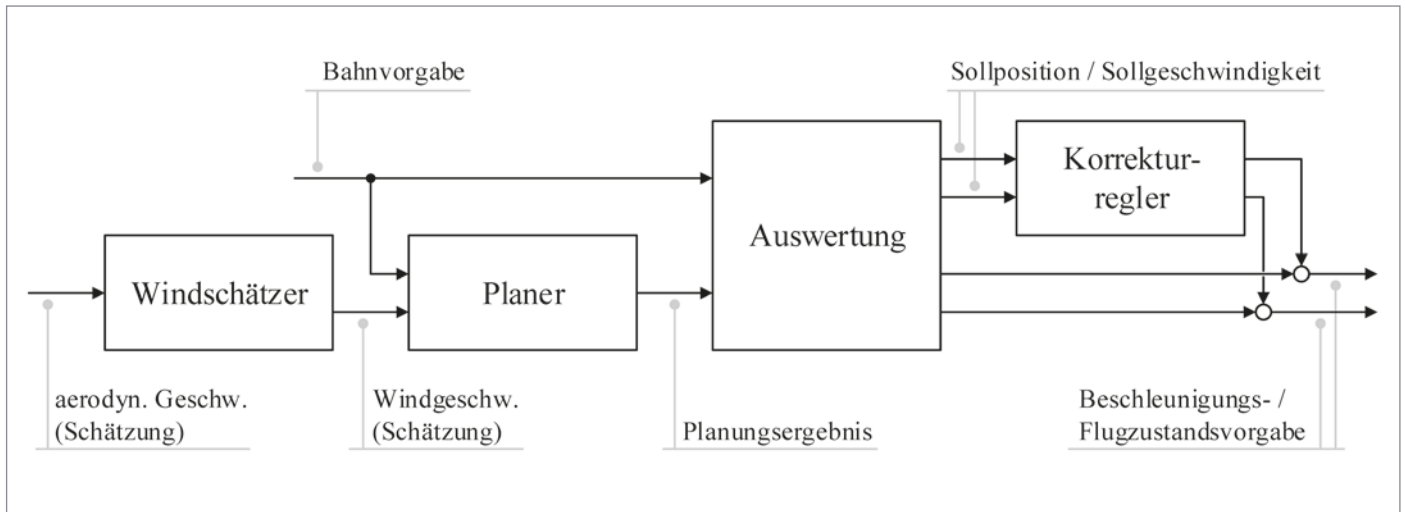


Abb. 5: Komponenten des Bahnreglers

gungen, hier im Sinne maximal zulässiger Beschleunigungen und Lastvielfachen sowie maximal zulässiger Flugzustandsänderungsraten, erfolgt. Damit dabei auch umfangreiche Flugzustandsänderungen berücksichtigt werden können, erfolgt die Planung vorausschauend für die in Zukunft zu fliegende Bahn.

Ein so für die Zukunft geplanter Flugzustandsverlauf besitzt allerdings nur eine begrenzte Gültigkeit. Wie zuvor diskutiert, hängt die Planung wesentlich von der **Windsituation** ab (Abb. 4). Damit Änderungen der Windsituation berücksichtigt werden können, wird die Windgeschwindigkeit fortlaufend geschätzt und die Planung während des Flugs regelmäßig erneuert. Gleichzeitig ist es nicht nötig, die vollständige Flugbahn in die Planung einzubeziehen. Die Planung muss die Bahn nur über einen so langen Bereich berücksichtigen, dass innerhalb des Bereichs eine beliebige Flugzustandsänderung durchführbar ist. Das ab der momentanen Fluggeräteeinheit berücksichtigte Bahn-Teilstück wird als Planungshorizont bezeichnet. Der begrenzende Fall für die Auslegung der Länge dieses Teilstücks ist ein Entschleunigungsvorgang vom schnellen Vorwärtsflug bei Rückenwind hin zum Schwebeflug.

Abb. 5 zeigt die **Komponenten des Bahnregelungssystems**. Die vom Windschätzer ermittelte Windsituation wird zusammen mit einer Bahnvorgabe vom Planer dazu benutzt, den Geschwindigkeits- und Flugzustandsverlauf für den aktuellen Planungshorizont zu planen. Die Komponente Auswertung nutzt das Ergebnis der

Planung dazu, die momentanen Vorgaben für die Beschleunigung und den Flugzustand zu bestimmen. Eventuelle Abweichungen des Fluggeräts von Sollposition und -geschwindigkeit werden vom Korrekturregler in Form einer Anpassung der Beschleunigungs- und Flugzustandsvorgaben proportional zurückgeführt. Im Folgenden wird die Planungskomponente genauer beschrieben. Details zu den übrigen Komponenten sind in [7] zu finden.

Die **Planung eines Flugzustandsverlaufs** kann zunächst auf die Planung eines Bahngeschwindigkeitsverlaufs zurückgeführt werden. Bei bekannter Bahngeometrie und bekannter Windgeschwindigkeit sowie der Annahme eines schiebewinkel-freien Flugs besteht ein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Betrag der Bahngeschwindigkeit und den Flugzuständen (Vorwärtsgeschwindigkeit, Vertikalgeschwindigkeit und Azimut). Für die Planung wird die vorausliegende Bahn bis zum Planungshorizont zunächst räumlich zu einzelnen Bahnpunkten mit festem Abstand diskretisiert. Die Anfangsposition der Betrachtung ergibt sich dabei aus dem vorhergehenden Planungsdurchlauf (vgl. **Abb. 6**). Auf diese Weise wird eine eventuelle Abweichung der Fluggeräteeinheit in der Planung nicht berücksichtigt. Abweichungen können jedoch durch die Wirkung des Korrekturreglers im Allgemeinen als klein angenommen werden. In jedem Planungsdurchlauf wird der Wind für die Zukunft als konstant angenommen, da eine Vorhersage der Windgeschwindigkeit aufgrund des stochastischen Charakters des Winds nicht möglich ist. Windände-

rungen können erst durch wiederholte Planungsdurchläufe berücksichtigt werden.

Die **Planung des Geschwindigkeitsverlaufs** über die diskretisierten Bahnpunkte erfolgt in zwei Schritten: Im **ersten Schritt** werden alle Randbedingungen betrachtet, die zu einer Beschränkung der Bahngeschwindigkeit für jeden einzelnen Bahnpunkt führen. Zu diesen Randbedingungen gehören direkte Geschwindigkeitsbegrenzungen aus der Flugbahnvorgabe sowie die maximale Steig- bzw. Sinkgeschwindigkeit des Fluggeräts. Zusätzlich führt die lokale Bahnkrümmung zu geschwindigkeitsabhängigen Beschleunigungen und Flugzustandsänderungen, die zusammen mit Beschränkungen der lateralen und vertikalen Beschleunigungen und Flugzustandsänderungsraten weitere Randbedingungen bilden. Alle Randbedingungen führen zu unabhängigen oberen Schranken für die Bahngeschwindigkeit. Von diesen wird die jeweils kleinste für den Bahnpunkt übernommen. Für den ersten Bahnpunkt der Planung ist zusätzlich die Anfangsgeschwindigkeit aus der vorhergehenden Planung zu berücksichtigen. **Abb. 7** zeigt das **Ergebnis** dieses ersten Planungsschritts.

Das Ergebnis der Einzelpunkt Betrachtung im ersten Schritt genügt im Allgemeinen nicht allen flugmechanischen Randbedingungen, da sich entlang der Planung große Geschwindigkeits- und damit Flugzustandsgradienten ergeben.

Im **zweiten Planungsschritt** erfolgt daher eine **Gradientenanpassung**. Dabei wer-

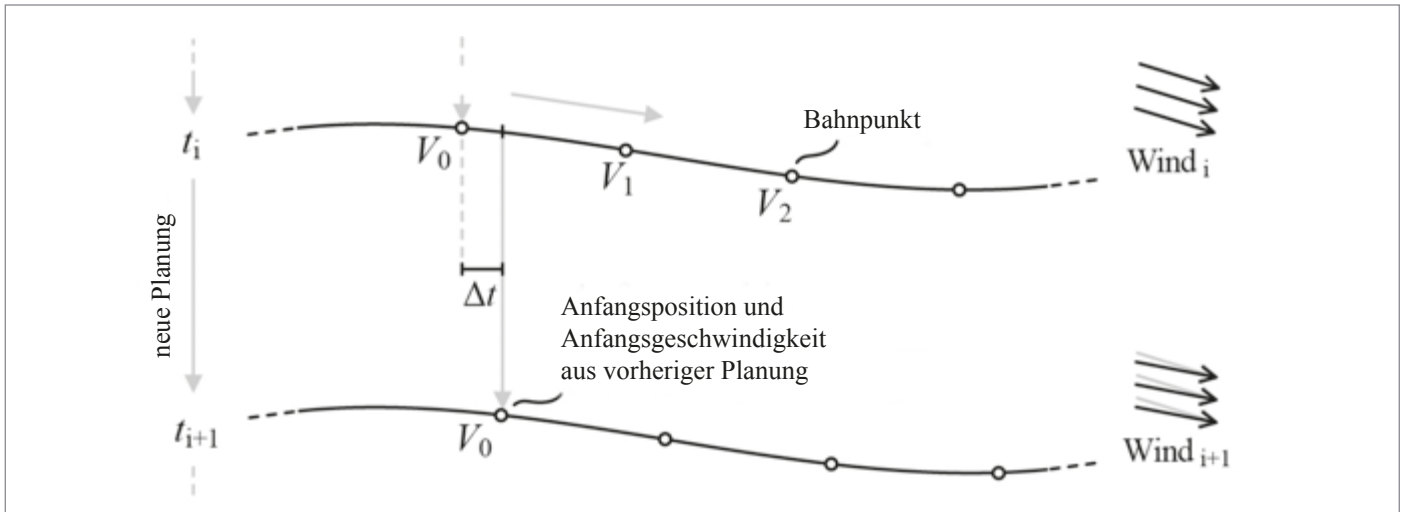


Abb. 6: Erneuerung der Bahnplanung und Änderung der Windsituation

den die Geschwindigkeiten nur nach unten angepasst, da die Geschwindigkeiten aus dem ersten Schritt obere Schranken darstellen. Betrachtet man den Gradienten zwischen zwei Bahnpunkten, führt die Reduktion der Geschwindigkeit des „schnelleren“ Bahnpunktes zu einem Abbau des Gradienten. Gleichzeitig kann sich der Gradient zu benachbarten Bahnpunkten dabei auch erhöhen. Die Planung erfolgt daher in zwei entgegengesetzten Durchläufen über den Planungshorizont (entgegen und mit der Flugrichtung). Dabei erfolgt die einzelne Gradientenanpassung jeweils durch Anpassung des in Durchlaufrichtung folgenden Bahnpunktes. In jedem Durchlauf können dadurch zwar nur positive Geschwindigkeitsgradienten abgebaut werden, in Durchlaufrichtung zurückliegende, bereits angepasste Gradienten bleiben aber unbeeinflusst. Die Anpassung ist daher nach zwei Durchläufen abgeschlossen.

Für die einzelne Gradientenbetrachtung wird zwischen zwei Bahnpunkten eine konstante Beschleunigung sowie, in guter Näherung, eine konstante Änderungsrate aller Flugzustandsgrößen angenommen. Die Geschwindigkeitsgradienten werden solange reduziert, bis die Beschleunigung in Bahnrichtung und die aus der Änderung der Bahngeschwindigkeit resultierenden Flugzustandsänderungsraten ihren jeweiligen Beschränkungen genügen. Ein exemplarisches Ergebnis des zweiten Planungsschritts ist in Abb. 8 dargestellt. In beiden Planungsschritten können die verschiedenen flugmechanischen Randbedingungen durch geschlossene Aus-

drücke oder schnell konvergierende Iterationsvorschriften auf Beschränkungen der Bahngeschwindigkeit zurückgeführt werden. Die gesamte Planung besitzt dadurch einen so kleinen numerischen Aufwand, dass eine regelmäßige Berechnung im Flug mit hoher Wiederholungsrate möglich ist.

Die aus der Bahngeschwindigkeitsplanung resultierenden Flugzustände werden durch die Komponente **Auswertung** bestimmt und dem Flugzustandsregler

vorgegeben. Die Planung wird dabei nur solange verwendet, bis eine aktualisierte Planung vorliegt. In dieser Zeitspanne legt das Fluggerät typischerweise nur einen kleinen Bruchteil des Wegs bis zum Ende des Planungshorizonts zurück. Der größte Teil der Planung wird daher zugunsten einer Aktualisierung verworfen. Trotzdem erfüllt der verworfene Teil der Planung einen wichtigen Zweck. Erst durch die Vorausschau können langfristige Flugzustandsänderungen berücksichtigt werden.

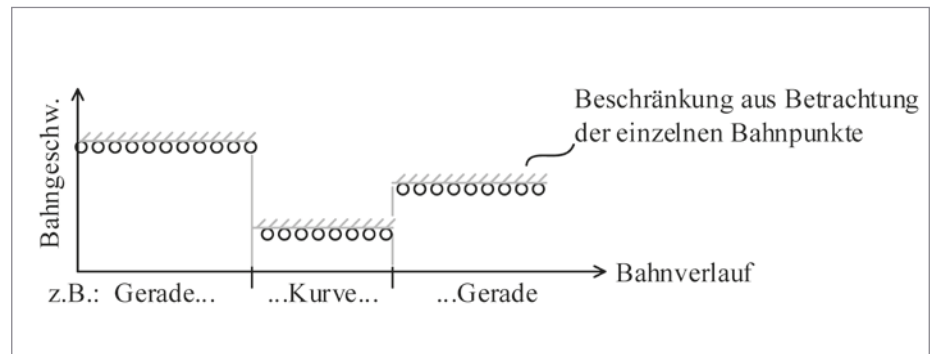


Abb. 7: Ergebnis der Einzelpunkt Betrachtung

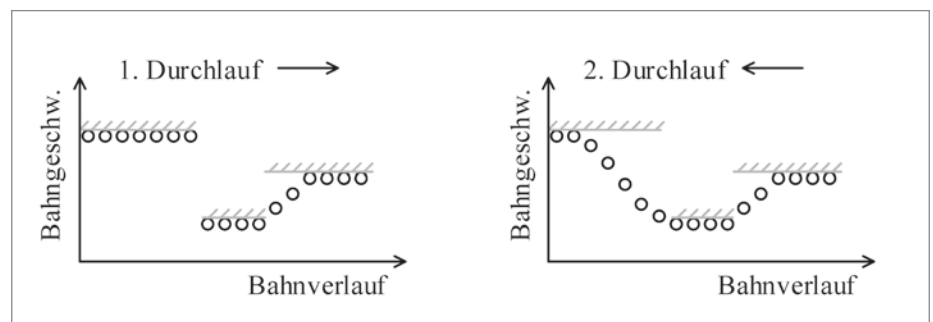


Abb. 8: Ergebnis der Gradientenanpassung

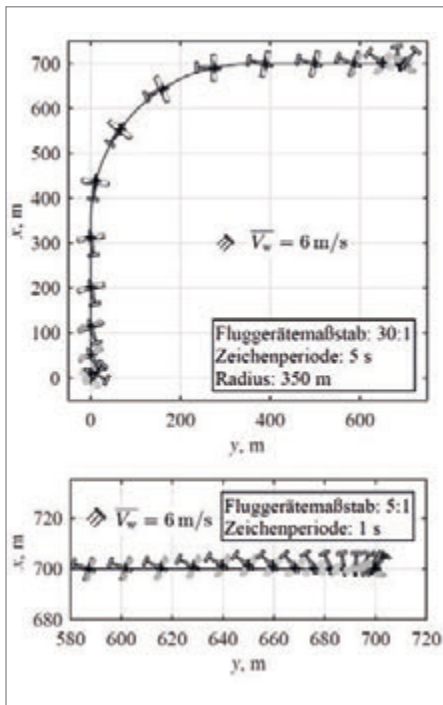


Abb. 9: Flugbahnfolge im Kurvenflug und bei Erreichen eines Bahnendes

3. Ergebnisse

Die vorgestellte Methode zur Bahnregelung wurde in Simulationen evaluiert. Betrachtet wurde das Bahnfolgeverhalten anhand elementarer Bahnvorgaben wie dem einfachen Kurvenflug sowie anhand komplexer Missionsflugbahnen unter dem Einfluss verschiedener Störungen. Die Ergebnisse konnten zeigen, dass für alle untersuchten Bahnvorgaben sinnvolle Flugzustandsverläufe geplant wurden. Die für den einfachen **Kurvenflug** sowie den Anflug eines **Bahnendes** bei Rückenwind geplanten Verläufe (**Abb. 9**) entsprechen dabei im Wesentlichen bereits bekannten und im Flugversuch erfolgreich eingesetzten Flugmanövern [6].

In anderen Situationen ergeben sich zunächst weniger intuitive, aber jederzeit sinnvolle Flugzustandsverläufe. Der Flug entlang einer **sehr engen Kurve** mit **starker Rückenwindkomponente** (**Abb. 10**) führt beispielsweise zu einem Flug mit vorwärts gerichteter Fluggeschwindigkeit gegenüber der Luft und rückwärts gerichteter Bewegung gegenüber der Erde.

Die Robustheit gegenüber Störeinflüssen wurde unter anderem durch künstlich eingeführte Fehler der Windschätzung betrachtet. Diese Störungen sind im Rahmen

der vorausschauenden Bahnregelung besonders interessant, da die Flugzustandsplanung direkt von der geschätzten Windsituation abhängt. Die insgesamt sehr hohe Bahnfolgegüte nahm bei Erhöhung des Fehlers der Windschätzung nur graduell und langsam ab.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend konnte die Untersuchung des Bahnfolgeverhaltens zeigen, dass die neu vorgestellte Methode zur Bahnregelung die automatisierte Bahnfolge entlang geometrisch komplexer Flugbahnen unter Nutzung des vollständigen Geschwindigkeitsbereichs erlaubt. Durch die so geschaffene Möglichkeit, die Bahnvorgaben beim automatisierten Flug hybrider Fluggeräte frei zu gestalten, wird der Anwendungsbereich dieser Fluggeräte erheblich erweitert.

Aufbauend auf diesem Ergebnis wird im Kontext der Luftraumintegration, zum Beispiel für Kollisionsvermeidungssysteme, aktuell untersucht, inwieweit kurzfristig nötige **Bahnanpassungen** auch **innerhalb des Planungshorizonts** erfolgen können und welche dynamischen Randbedingungen sich dabei aus der bisherigen Vorausschau ergeben. ●

Dr. Philipp Hartmann

Institut für Flugsystemdynamik
RWTH Aachen

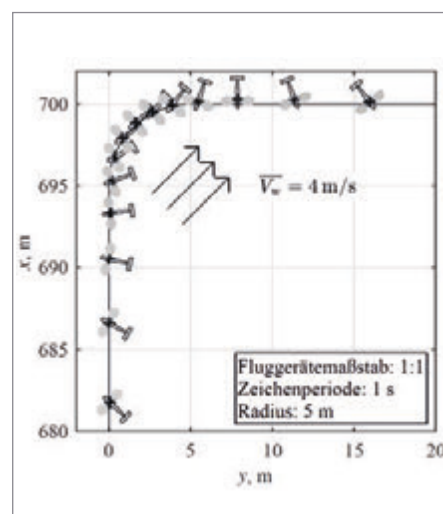


Abb. 10: Bahnfolge bei Kurvenflug mit Rückenwind

Literaturverzeichnis:

- [1] Sato, M.; Muraoka, K.: „Flight Controller Design and Demonstration of Quad-Tilt-Wing Unmanned Aerial Vehicle.“ In: *Journal of Guidance, Control, and Dynamics* Jg. 38 (2014), Nr. 6, S. 1071–1082. ISSN 0731–5090. <https://doi.org/10.2514/1.G000263>
- [2] Hartmann, P.; Meyer, C.; Moormann, D.: „Unified Velocity Control and Flight State Transition of Unmanned Tilt-Wing Aircraft.“ In: *Journal of Guidance, Control, and Dynamics* Jg. 40 (2017), Nr. 6, S. 1348–1359. ISSN 0731–5090. <https://doi.org/10.2514/1.G002168>
- [3] Di Francesco, G.; Mattei, M.: „Modeling and incremental nonlinear dynamic inversion control of a novel unmanned tiltrotor.“ In: *Journal of Aircraft* Jg. 53 (2015), Nr. 1, S. 73–86. ISSN 0021–8669. <https://doi.org/10.2514/1.C033183>
- [4] Small, E.; Fresk, E.; Andrikopoulos, G.; Nikolakopoulos, G.: „Modelling and control of a tilt-wing unmanned aerial vehicle.“ In: *24th IEEE Mediterranean Conference on Control and Automation 2016*. ISBN 1467383457. <https://doi.org/10.1109/MED.2016.7536050>
- [5] Kang, Y.-S.; Park, B. J.; Cho, A.; et al.: „Flight test of flight control performance for airplane mode of Smart UAV.“ In: *12th International Conference on Control, Automation and Systems 2012*. ISBN 1467322474. <http://ieeexplore.ieee.org/document/6393124/>
- [6] Hartmann, P.; Schütt, M.; Moormann, D.: „Control of Departure and Approach Maneuvers of Tiltwing VTOL Aircraft.“ In: *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference 2017, American Institute of Aeronautics and Astronautics*. <https://doi.org/10.2514/6.2017-1914>
- [7] Hartmann, P.: „Vorausschauende Flugbahnregelung für Kippflügelflugzeuge.“ Dissertation, RWTH Aachen, 2018. <http://publications.rwth-aachen.de/record/710450>



LEE HYDRAULISCHE MINIATURKOMPONENTEN

Seit 1948 fertigt LEE höchst präzise, miniaturisierte Hydraulikkomponenten, die maßgeblich zur Verringerung von Größe und Gewicht der Endprodukte beitragen und zugleich Qualität und Leistungsfähigkeit steigern.



Das neue AMH-Handbuch
jetzt anfordern – kostenlos

Nach ersten erfolgreichen Jahren in der Luftfahrtindustrie erweiterten wir stetig die Einsatzfelder für unsere Produkte. Heute zählen u. a. Automobilindustrie, Mobil- und Industriehydraulik, Offshore-Industrie, Energiewirtschaft, Raumfahrt, Motorsport, aber auch medizinische und chemische Analysegeräte dazu.



LEE Hydraulische Miniaturkomponenten GmbH
Am Limespark 2 · D-65843 Sulzbach

☎ +49(0)6196 / 773 69 - 0
✉ info@lee.de · www.lee.de



Innovation in Miniature
LEE  [®]

Termine 2019

10.4. – 13.4. 2019	AERO Friedrichshafen	Friedrichshafen
12.4. 2019	Yuri's Night: Vortrag im Vorhoelzer Forum der TUM Moderation Dr. Peter Hofmann. Anschließendes Get-together im Vorhoelzer Café	München
25.4. 2019	Vortrag: Electric and Hybrid Aviation – From Media Hype to Flight Physics Prof. Dr.-Ing. Dieter Scholz MSME, HAW Hamburg	Hamburg
29.4. 2019	Vortrag: Chancen und Grenzen von Batterien für das elektrische Fliegen Dr. Peter Michalowski, Institut für Partikeltechnik, TU Braunschweig	Braunschweig
9.5. 2019	Vortrag: Ergonomics in the Aviation Industry Dipl.-Ing. Klaus Fuchs, Senior Ergonomist, Plant Hamburg, Airbus	Hamburg
23.5. 2019	Vortrag: Cyber-Sicherheit – Die Kehrseite der Digitalisierung Prof. Dr. Dieter Gollmann, Leiter des Instituts für Sicherheit in verteilten Anwendungen, TU Hamburg	Hamburg
27.5. 2019	Vortrag: Electric propulsion systems for aircraft Dr. Frank Anton, Siemens eAircraft, Erlangen	Braunschweig
29.5. 2019	Jubiläumssymposium: 50 Jahre Mondlandung	Speyer
6.6. 2019	Digital Aviation Conference	Berlin
13.6. 2019	Vortrag: Vor 50 Jahren: Apollo 11 – Menschen auf dem Mond Dr. rer. nat. Thilo Günter, DGLR Hamburg	Hamburg
17.6 – 23.6. 2019	Paris Air Show, Le Bourget	Paris
24.6. 2019	Vortrag: Die Zukunft von VTOL – Forschung & Technologie bei Airbus Helicopters Frank Löser, Airbus Helicopters Deutschland, Donauwörth	Braunschweig
24.6. – 26.6. 2019	DGLR-Weiterbildung: Grundkurs Satellitentechnik	Berlin
28.6. 2019	Exkursion: AutoGyro, Hildesheim Otmar Birkner, Geschäftsführer AutoGyro GmbH; Dr. Holger Duda, Institut für Flugsystemtechnik, DLR Braunschweig	Hildesheim
30.9. – 2.10. 2019	DEUTSCHER LUFT- UND RAUMFAHRTKONGRESS 2019	Darmstadt
5.11. 2019	Raumfahrtkonferenz	Stuttgart
21.11. 2019	DGLR-Mitgliederversammlung und DGLR-Jahresempfang	Berlin



Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND WOHNUNGSBAU



RAUMFAHRT KONFERENZ 2019

5. November 2019
Stuttgart, Haus der Wirtschaft



Airbus nimmt Herausforderungen der Luftfahrt der Zukunft an

In den vergangenen 50 Jahren hat sich der Luftverkehr alle 15 Jahre verdoppelt. Bis Mitte der 2030er Jahre wird sich die Zahl der Passagiere von derzeit über vier auf gut acht Milliarden pro Jahr erhöhen. Wie sich Airbus im Wettbewerb mit Boeing auf diese gewaltigen Herausforderungen einstellt, war am 11. Februar 2019 Gegenstand eines spannenden Vortrags von Axel Flaig an der Technischen Universität Berlin. Im Rahmen ihres jährlichen DGLR-Abends hatte die Bezirksgruppe Berlin-Brandenburg der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR) den Senior Vice President Research & Technology von Airbus S.A.S. in Blagnac eingeladen, um einen Blick auf die zukünftige Entwicklung der Luftfahrtindustrie zu werfen. Dabei ging es nicht nur um die reine Erhöhung von Stückzahlen, sondern auch um die strenge Beachtung des Umweltschutzes.

Um das steigende Passagieraufkommen in den nächsten 20 Jahren zu bewältigen, würden 37.380 neue Flugzeuge im Wert von 5,8 Milliarden Dollar gebraucht. Aufbauend auf der sehr erfolgreichen Flotte aus den Modellen A320, A330 und A350 rechnet sich Airbus trotz der Stornierung von A380-Bestellungen durch Emirates gute Wettbewerbschancen aus, betonte Flaig. Dazu seien aber radikale neue Lösungen und Konzepte beim Flugzeugdesign, bei den Antriebssystemen sowie beim Betriebs- und Energiemanagement erforderlich. Ziel sei die Umsetzung des Flight-path 2050 der ACARE (Advisory Council for Aviation Research and Innovation in Europe) mit einer Reduzierung der CO₂-Emissionen um 75, des NO_x-Ausstoßes um 95 sowie des Lärmpegels um 65 Prozent, bezogen auf eine Referenz aus dem Jahre



Bezirksgruppenleiter Stefan Hein (r.) überreichte dem Vortragenden Axel Flaig ein Präsent

2000. Zudem müsse Airbus die monatliche Produktionsrate von derzeit 60 auf 100 Maschinen erhöhen. Durch innovative Produktionsmethoden soll dazu auch die Anzahl der Bauteile drastisch gesenkt werden. Immerhin bestehen kleine Flugzeuge heutzutage aus rund einer Million, große sogar aus vier Millionen Einzelteilen.

Flaig zeigte die Bemühungen des Großkonzerns mit zahlreichen Beispielen zur Verbesserung der Produktpalette, auch unter Einsatz der Künstlichen Intelligenz (KI). Beginnend bei neuen aerodynamischen Lösungen, über neue Antriebe und neue Materialien bis hin zum Ersatz von Kabelleitungen durch integrierte Schaltungen (das Drucken von Leiterbahnen auf der Kabinenverkleidung) und die virtuelle Neugestaltung der Passagierkabinen mit Bildschirmen statt Fenstern sowie neue Cockpits. Dabei geht es auch um die Reduzierung des Cockpit-Personals bis hin zur angestrebten Ein-Piloten-Lösung.

Der Pilot soll in diesem Fall von einem Bodenleitsystem unterstützt werden. Mit modernsten Kommunikationsmitteln kann die konstante Versorgung nicht nur über Satelliten, sondern auch über die Signalweiterleitung von Flugzeug zu Flugzeug sichergestellt werden.

Bei manchen angedachten Lösungen nimmt Airbus auch eine Anleihe an biologischen Mustern. So kann sich Flaig Formationsflüge auf Transatlantik-Routen vorstellen. Durch die Nutzung der Wirbelschleppen eines vorausfliegenden Flugzeugs könnten Treibstoffeinsparungen bis zu zehn Prozent erreicht werden. Zur Verrechnung der eingesparten Kosten unter den beteiligten Airlines wäre die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle erforderlich. Nicht denkbar sei für ihn dagegen eine Rückkehr zu Überschallflugzeugen im kommerziellen Luftverkehr. Aufgrund des mit der Fluggeschwindigkeit überproportional ansteigenden Treibstoffverbrauchs sei der Überschallflug mit den Zielen des Umweltschutzes nicht vereinbar.

Nach dem Vortrag kamen die Teilnehmer noch zu Diskussionen und Gesprächen bei Bier und Brezeln zusammen. Dabei hatten sie die Möglichkeit, sich die ausgestellten studentischen Arbeiten des Instituts für Luft- und Raumfahrt der Technischen Universität Berlin anzuschauen und sich über die Projekte zu informieren. ●



Auch in diesem Jahr war der große Hörsaal im Chemiegebäude der TU Berlin anlässlich des DGLR-Abends gut besucht

Mobil bleiben und nachhaltig werden – den Wandel in der Luftfahrt gestalten

Die Luftfahrt ist ein essenzieller Bestandteil der Wirtschaft und trägt durch Personen- und Gütertransport wesentlich zur Mobilität und zum wirtschaftlichen Erfolg vieler Nationen und Wirtschaftsräume bei. Nach Angaben der ICAO (*Internationale Zivilluftfahrtorganisation*) wurden 2017 weltweit 4,1 Milliarden Passagiere befördert und ungefähr 56 Millionen Tonnen Fracht transportiert. Diese Zahlen werden in den nächsten Jahren weiter wachsen. Umso mehr gilt es, Konzepte und Lösungen zu finden, die dieses Wachstum nachhaltig gestalten. Im Rahmen der Veranstaltungsreihe „Luftfahrt der Zukunft“ diskutierten Experten am 28. Januar 2019 im Haus der Wissenschaft in Braunschweig ökologische, ökonomische und gesellschaftliche Fragen und Antworten auf dem Weg zu einem nachhaltigen Luftverkehrssystem.

Das Interesse am Luftverkehrssystem der Zukunft war groß: Der Saal im Haus der Wissenschaft war voll besetzt, einige Gäste nahmen sogar in Kauf, der Diskussion im Stehen zu folgen. Auf dem Podium saßen an diesem Abend Prof. Dr. Jens Friedrichs, Sprecher des Exzellenzclusters SE²A an der Technischen Universität Braunschweig, Daniel Reckzeh, Senior Manager Research & Technology Chief Engineering bei der Airbus Operations GmbH in Bremen sowie Prof. Dr. Robert Sausen vom Institut für Physik der Atmosphäre des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Oberpfaffenhofen. Moderiert wurde die Podiumsdiskussion von Andreas Schütz, Pressesprecher des DLR.

Die Grundsatzfrage an diesem Abend lautete: Was bedeutet „Luftverkehr der Zukunft“? Der wachsende Bedarf an Mobilität steht zunehmend einem steigenden

Umweltbewusstsein gegenüber. Wie kann das in Einklang gebracht werden? Ist die von EU-Kommission und Luft- und Raumfahrtindustrie gemeinsam erarbeitete Forschungs- und Innovationsstrategie *Flightpath 2050* noch aktuell oder sollte sie hinsichtlich Wachstum und Nachhaltigkeit angepasst werden?

Prof. Dr. Jens Friedrichs betonte, dass diese Überlegungen schon in der wissenschaftlichen Lehre ansetzen müssten. Die Ausbildung müsse zukünftig umfassender sein. Ein Maschinenbaustudium mit Vertiefung Luft- und Raumfahrttechnik, wie es heute beispielsweise angeboten wird, vermittele wichtige physikalische Grundlagen, ohne die die Entwicklung neuer Technologien nicht möglich wäre. Daher sei es wichtig, den Studierenden den Umgang mit *Big Data* und Simulation im Kontext des späteren Einsatzes im beruflichen Umfeld beizubringen. So könne die Digitalisierung als Werkzeug für zukünftige Flugzeugentwürfe optimal eingesetzt werden.

Der „Digitale Zwilling“ ist die virtuelle Abbildung des Flugzeugs und all seiner geometrischen und physikalischen Eigenschaften mittels digitaler Konstruktionswerkzeuge und numerischer Simulationsmodelle. Für die drei Podiumsgäste ist es die zukunftsweisende Methode in der Luftfahrt. Hinzu käme, dass das System mehr „im Ganzen“ gedacht werden müsse. Das bedeute, so Prof. Dr. Robert Sausen, dass sich die Ziele des Flugzeugbaus nicht wie derzeit üblich nach dem Markt richten sollten, sondern immer wieder neu nach den Fragen: Wie effizient ist der Luftverkehr? Was sind die derzeitigen Rahmenbedingungen? Und was sind die Konsequenzen?

So ließe sich auch eines der größten Probleme der Luftfahrtindustrie angehen: der schwindende Nachwuchs. Unternehmen wie Airbus müssten es schaffen, den Nachwuchs an sich zu binden und langfristig zu motivieren, so Daniel Reckzeh. Man müsse den jungen Menschen ein gesamtsystemisches Denken anbieten und es vor allem auch umsetzen: vom Entwurf über den Bau und Test bis zum Betrieb. Es sei sinnvoller und zudem motivierender, von Anfang an mitzudenken, welche Conse-



Bild: Jasmin Begli, DLR Braunschweig

V. l. n. r.: Daniel Reckzeh, Robert Sausen, Shanna Schönhals, Joachim Block, Jens Friedrichs, Andreas Schütz; hinten: Mark Schmidt, Thorsten Witt, Horst Günther

quenzen für den Betrieb sich bereits aus dem Flugzeugentwurf ergeben.

Die vielen Gäste im Haus der Wissenschaft, darunter auch zahlreiche Studierende, konnten anschließend ihre Fragen an die Experten stellen und lobten die Veranstaltung mit einem lang anhaltenden Applaus.

Neben der Diskussion konnten sich die Teilnehmer der Veranstaltung einige Modelle von möglichen zukünftigen Flugzeugkonfigurationen anschauen, darunter ein rein elektrisch angetriebenes Regionalflugzeug und ein emissionsarmes Nurflügel-Langstreckenflugzeug. Diese Lösungen entstanden im Vorprojekt zum Exzellenzcluster „SE²A – Sustainable and Energy Efficient Aviation“ an der TU Braunschweig: „Energiewende in der Luftfahrt“. Das Exzellenzcluster erforscht Technologien für die nachhaltige und umweltverträgliche Entwicklung des Luftverkehrs und wird seit 2019 für sieben Jahre durch die Exzellenzinitiative der Deutschen Forschungsgesellschaft (DFG) von Bund und Ländern gefördert. ●

LUFTFAHRT DER ZUKUNFT

Die Veranstaltungsreihe „Luftfahrt der Zukunft“ widmet sich in Vorträgen und Exkursionen den Entwicklungen im Bereich der Luftfahrt sowie neuesten Anwendungen und Lösungen der Luftfahrtforschung. Die Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR), das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), das Niedersächsische Forschungszentrum für Luftfahrt (NFL) und der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) präsentieren gemeinsam mit dem Haus der Wissenschaft Braunschweig renommierte Expertinnen und Experten, die den heutigen Stand von Forschung und Technik erläutern.



Podiumsgäste und Moderator im Gespräch

„Der Rote Baron“ – Manfred Freiherr von Richthofen und das Taktische Luftwaffengeschwader 71 „Richthofen“

Das Taktische Luftwaffengeschwader 71 „Richthofen“ ist ein Traditionsverband der deutschen Luftwaffe. Seine sogenannte Alarmrotte steht rund um die Uhr zum Einsatz bereit und muss immer darauf vorbereitet sein, die Lufthoheit in ihrem Gebiet über Deutschland zu bewahren. Am 11. Januar 2019 gab Oberleutnant Markus Häuser im *TECHNOSEUM* Mannheim einen Einblick in das spannende Arbeitsfeld des traditionsreichen Geschwaders. Auf Einladung der Bezirksgruppe Mannheim der *Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR)* und des *Arbeitskreises Technikgeschichte* sowie der Bezirksgruppe Frankenthal/Worms des *VDI (Verein Deutscher Ingenieure)* berichtete er über den „Roten Baron“, das Luftwaffengeschwader „Richthofen“ und über den Weg ins Cockpit eines Eurofighters.

Häuser trat im August 2011 in die Bundeswehr ein und schloss 2014 die fliegerische Ausbildung auf strahlgetriebenen Kampflugzeugen erfolgreich ab. Von 1.000 Bewerbungen erhält gerade mal eine Person die Zulassung für die Ausbildung zum **Jetpiloten** bei der Luftwaffe. Um sich für die **mehrere Millionen teure Ausbildung** zu bewerben, sind eine sehr gute physische Kondition und eine stabile psychische Belastbarkeit wichtig. Derzeit befindet sich Häuser in der Schulung auf das Waffensystem **Eurofighter**. Selbstvertrauen,



Oberleutnant Häuser vor dem 1:2 Nachbau des ersten raketentriebenen Flugzeugs RAK-1 des Mannheimer Konstrukteurs Julius Hatry im *TECHNOSEUM* Mannheim

Ruhe, Souveränität, Intelligenz und Schlagfertigkeit seien notwendige Eigenschaften, damit einem ein mehrere Millionen Euro teures, aus Steuermitteln finanziertes Fluggerät anvertraut wird, so Häuser.

„Der Rote Baron“ – Manfred Freiherr von Richthofen

Benannt wurde das Geschwader, in dem Häuser seinen Dienst leistet, nach dem deutschen Offizier und Jagdflieger **Manfred Albrecht Freiherr von Richthofen**. Richthofen erzielte die höchste Zahl von Luftsiegen im Ersten Weltkrieg, die von einem einzelnen Piloten erreicht wurde. Er wurde später auch „Der Rote Baron“ genannt, da er einen Großteil seiner Einsätze in einem rot gestrichenen Flugzeug flog.

Zu Beginn des Ersten Weltkriegs wurde Richthofen mit seinem Regiment an der russischen Grenze eingesetzt, kurze Zeit später aber an die Westfront verlegt. Am **30. Mai 1915** trat er seine Ausbildung als **Beobachter** bei einem Lehrgang in der *Flieger-Ersatzabteilung 7* in Köln an. Ab September 1915 absolvierte Richthofen seine **Ausbildung zum Flugzeugführer**. Ein Jahr später kam er schließlich zur *Jagdstaffel (Jasta) 2*, die unter dem Kommando von **Oswald Boelcke** stand. Richthofen war ein geschickter Taktiker. Im März 1917 wurde er zum Oberleutnant sowie bereits zwei Wochen später zum Rittmeister befördert. Beide Beförderungen erfolgten aufgrund seiner besonderen Verdienste frühzeitiger als sonst üblich.

Weil die deutsche Fliegertruppe ihren Gegnern stark unterlegen war (Verhältnis 1:3), entwickelte Richthofen im Frühjahr 1918 die von den Engländern als „**Flying Circus**“ benannte **Kampftaktik**. Richthofens Geschwader war die Elite der Fliegertruppe und wurde regelmäßig an Brennpunkten der Bodenkämpfe eingesetzt. Die Einheit war mobil und konnte schnell den Standort wechseln. Zu diesem Zweck wurden die **Flugzeuge demontiert** und mit dem benötigten Material auf **Lastwagen** verladen. So konnte das Geschwader ähnlich einem Wanderzirkus innerhalb kürzester Zeit zu den entsprechenden Einsatzgebieten verlegt werden. Die Alliierten kannten die Taktik, also sparte man sich die Tarnfarbe und **malte die Flugzeuge stattdessen bunt an**. Aus der Entfernung sahen die Luftkämpfe dadurch aus wie akrobatische Kunststücke in einem Zirkus.

Am **21. April 1918** wurde Richthofen bei einem Gefecht **von einer Kugel getroffen**, die von rechts unten in seinen Oberkörper eindrang. Er landete noch nahe einer französischen Stellung, starb aber kurz nach Ankunft der auf französischer Seite kämpfenden australischen Soldaten. Manfred von Richthofen hatte in seiner Karriere bei der Fliegertruppe **80 bestätigte Luftsiege** erzielt. Der Respekt vor ihm war selbst beim Gegner so groß, dass er am 22. April mit allen militärischen Ehren auf einem **französischen Friedhof** beigesetzt wurde. Wahrscheinlich war er der erste gegnerische Pilot, zu dessen Trauerfeier die „**Missing Man Formation**“ geflogen wurde.



Manfred Freiherr von Richthofen

Sein Geschwader erfuhr erst am 23. April durch die Alliierten von seinem Tod. Ein Jagdflugzeug warf die Botschaft ab: „To the German Flying Corps. Rittmeister Baron Manfred von Richthofen was killed in aerial combat on April 21st 1918. He was buried with full military honours.“

Taktisches Luftwaffengeschwader 71 „Richthofen“

Im zweiten Teil seines Vortrags berichtete Oberleutnant Häuser über das Taktische Luftwaffengeschwader 71 „Richthofen“, das im norddeutschen Wittmund beheimatet ist. Das Luftwaffengeschwader ist auch Heimatbasis der Alarmrotte, die für die Luftraumüberwachung über dem Norden Deutschlands zuständig ist.

Am 6. Juni 1959 wurde das Jagdgeschwader 71 der „neuen“ Luftwaffe am Standort Ahlhorn in der Nähe Oldenburgs in Dienst gestellt. Erster Kommodore des Verbands war Major Erich Hartmann, der weltweit erfolgreichste Jagdflieger in der militärischen Luftfahrtgeschichte. 1963 erfolgte der Umzug nach Wittmund. Ende September 2013 wurde das Jagdgeschwader 71 „Richthofen“ im Zuge militärischer Umstrukturierung bei der Luftwaffe aufgelöst und wurde bis Mitte 2016 zur Taktischen Luftwaffengruppe 71 „Richthofen“. Seit 1. Juli 2016 ist es als Taktisches Luftwaffengeschwader 71 „Richthofen“ im Einsatz.

Flugzeuge des Geschwaders „Richthofen“

Von 1959 bis 1965 war das einstrahlige Jagdflugzeug *F-86 Sabre* beim Geschwader „Richthofen“ im Einsatz, das ursprünglich vom amerikanischen Flugzeughersteller *North American Aviation* gebaut wurde. Im Zeitraum von 1964 bis 1974 kam die von *Lockheed* gebaute F-104 – besser bekannt unter dem Namen „Starfighter“ – zum Einsatz, ein damals sehr moderner Überschalljäger, der leider durch sehr viele Abstürze in Deutschland traurige Berühmtheit erlangte.

Ab 1973 bis zur Mitte des Jahres 2013 versah die zweistrahlige *McDonnell-Douglas F-4 „Phantom“* ihren Dienst in Wittmund. Am 8. April 2013 landete der erste von neun *Eurofightern* in Ostfriesland. Sie lösten ab dem 1. Juli 2013 die F-4F als Alarmrotte ab. Seit diesem Zeitpunkt ist Europas

modernstes Überschallflugzeug – der „Eurofighter Typhoon“ im Einsatz in Wittmund.

Eurofighter bei der Luftwaffe

Häuser berichtete, dass die Luftwaffe circa 120 Exemplare dieses Mach 2 schnellen Flugzeugs im Einsatz hat. Vier Eurofighter des Geschwaders „Richthofen“ sind grundsätzlich innerhalb von 15 Minuten rund um die Uhr 365 Tage im Jahr einsatzbereit. Man spricht hierbei von „RS 15“ (*Readiness State 15*). Bei Bedarf kann der RS auf 10, 5 oder 2 erhöht werden. Um die Eurofighter in die Luft zu bekommen, braucht es 28 Soldaten und zivile Mitarbeiter.

Die Flugzeuge versehen ihren Dienst in der deutschen Luftwaffe, sind aber der NATO unterstellt. Der sogenannte „Richthofen Spirit“ – Kameradschaft, Zuverlässigkeit, Zusammenhalt, Pflichtbewusstsein, Gehorsam, Wahrhaftigkeit und Streben nach maximaler Leistung – gilt als Synonym und Identifikationsmerkmal der soldatischen Werte der Geschwaderangehörigen zur Erfüllung ihres Auftrags und zum Erhalt der Gemeinschaft.

Der Weg ins Cockpit eines Eurofighters ist ein langer und besonders hart umkämpfter, wie Oberleutnant Häuser in seinem dritten Teil des Vortrags berichtete. 18 Monate Training in den USA, unzählige Prüfungen und ständiger Leistungsdruck erwarten die Flugschüler. Wer dies erfolg-

reich meistert, darf bei entsprechender Leistung die **Musterschulung** auf dem Eurofighter in Deutschland, Spanien oder Großbritannien antreten.

Das Auswahlverfahren

Zunächst erfolgen die **Bewerbung und Eignungsfeststellung**, in denen der Aspirant zahlreiche nicht nur fachliche, sondern auch physische, in Form von Aufgaben im Flugsimulator, und medizinische Prüfungen über sich ergehen lassen muss. Und wer auf die Frage „Warum wollen Sie Offizier und Eurofighter-Pilot werden?“ keine fundiert begründete Antwort geben kann, sei sofort aus dem Rennen, so Häuser.

Nach bestandener Auswahl startet die **Grund- und Offiziersausbildung**, in denen der Anwärter die Grundlagen des „soldatischen Handwerks“, wie Häuser die Ausbildung umschrieb, lernt. Danach beginnt entweder direkt die **fliegerische Ausbildung** oder zunächst ein **Studium** an einer der Bundeswehr-Universitäten in München oder Hamburg. Beide Universitäten bieten eine Vielzahl an Studiengängen, die vom Bauingenieurwesen über Maschinenbau und Luft- und Raumfahrttechnik bis hin zu Wirtschafts- und Organisationswissenschaften reichen.

Viele Pilotenanwärter entscheiden sich zunächst für ein **Studium der Luft- und Raumfahrttechnik**. Häuser trat jedoch



Canadair Sabre Mk. 6 im Luftwaffenmuseum in Berlin-Gatow

gleich den **direkten Weg** ins Cockpit an. Dieser führte ihn zuerst in den Grundlehrgang „Initial Flight Training – Teil 1 (IFT1)“, zu Zentrifugentests und zum Überlebens-training auf hoher See.

Nach dem Grundlehrgang ging es nach **Goodyear** in Arizona, wo er den **IFT2** absolvierte. Dazu zählen 36 Ausbildungsstunden auf dem zweisitzigen Trainingsflugzeug **Grob G120A**, das auch die Luft-hansa zur Ausbildung ihrer Verkehrspiloten einsetzt, um ihnen die praktischen Grundlagen des Fliegens nahe zu bringen.

Weiter ging es zur **Sheppard Air Force Base** nach Texas, der Pilotenschmiede der **NATO**. Hier erfolgt seit 1981 ein multinationales Ausbildungsprogramm mit 13 Partnernationen. Die Anwärter erwartet ein 55 Wochen langes intensives Training. Pro Tag werden ein bis zwei Flüge durchgeführt, begleitet von zusätzlichen Simulatorflügen, theoretischem Unterricht und Tests. Über 7.120 Piloten haben dieses Training seit Beginn durchlaufen.

In der **letzten Phase** des Trainings fliegen die Schüler dann den Jet-Trainer **T-38C**. Laut Häuser trenne sich hier die „Spreu vom Weizen“. Je nach Leistung wird gegen Ende entschieden, ob man den anschließenden einjährigen B-Kurs in Deutschland, als Eurofighter-Pilot beim Taktischen Luftwaffengeschwader 73 „Steinhoff“ in Rostock oder als Tornado-Pilot beim Taktischen Luftwaffengeschwader 51 „Immelmann“ im schleswig-holsteinischen Jagel absolviert.



Bild: Helmut Warth

V. l. n. r.: Dr. Hajo Neumann (VDI), Dr. Erec Fahlbusch (DGLR), Oberleutnant Markus Häuser und Dr. Helmut Warth (DGLR/VDI)

Nach dieser umfassenden Ausbildung zum Jet-Piloten, bei der es trotz strenger Auswahl auch Abbrecher gäbe, warte laut Häuser eine lange Zeit als Jetpilot auf die jungen Flieger, die bis jenseits des 60. Lebensjahres andauern kann.

Fliegerleidenschaft für einen Abend

Häusers Erzählungen führten zu einem spannenden, interessanten und kurzweiligen Vortragsabend. Seine Leidenschaft für die Fliegerei war für alle Teilnehmer regelrecht spürbar. Das Publikum erfuhr viel über den „Roten Baron“, das Luftwaffengeschwader 71 „Richthofen“ und seine Tradition sowie die Ausbildung zum Eurofighter-Pilot, „vor der man nur aufrichtigen

Respekt haben kann“, so die einhellige Meinung der Zuhörerinnen und Zuhörer. Der Abend wurde ergänzt und abgerundet durch viele Publikumsfragen bereits während und im Anschluss an den Vortrag, die der Veranstaltungsleiter **Dr. Helmut Warth** schließlich aufgrund der nur begrenzten Öffnungszeit des **TECHNOSEUMS** unterbrechen musste. Die Diskussion verlegte sich dann auf den vorbereiteten Imbiss in der sogenannten „Arbeiterkneipe“ des **TECHNOSEUMS**. Dort fand sich noch ausreichend Gelegenheit, Häuser persönlich Fragen zu stellen.

- **Dr. Helmut Warth**
DGLR/VDI Mannheim
- **Sybille Breuning**
AdL
- **Dr. Erec Fahlbusch**
DGLR Mannheim



Verbindung leben

Wie grün kann ein Flughafen sein?

Wir arbeiten dran: Bis 2030 ist der Flughafen München klimaneutral. Erfahren Sie mehr dazu unter munch-airport.de/klimaneutral



Dr. Detlef Müller-Wiesner ist neuer Vorsitzender des DGLR-Ehrungsausschusses

Dr. Müller-Wiesner ist neuer Vorsitzender des DGLR-Ehrungsausschusses. Er übernimmt die Leitung des Gremiums von Prof. Dr. Berndt Feuerbacher, der zwei Amtszeiten den Ehrungsausschuss geleitet hat. Herr Feuerbacher scheidet auf eigenen Wunsch aus dem Ehrungsausschuss aus.

Die DGLR ist Herrn Feuerbacher sehr dankbar für seine außerordentlichen Verdienste für die Gesellschaft und wünscht seinem Nachfolger einen guten Start.

Ebenfalls dankt die DGLR Prof. Dr. Dieter Schmitt, der ebenso aus dem Gremium scheidet. Neuberufen für den Ehrungsausschuss wurden Prof. Dr. Cord Christian Rossow und Dr. Michael Sölter.

Der DGLR-Ehrungsausschuss im Überblick:

Vorsitzender:
Dr.-Ing. Detlef Müller-Wiesner

Dr.-Ing. Holger Friehmelt
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Klenner
Dipl.-Ing. Andreas Lindenthal
Prof. Dr.-Ing. Cord Christian Rossow
Dr.-Ing. Michael Sölter
Prof. Dipl.-Ing. Heinz Stoewer
Prof. Dr.-Ing. Joachim Szodruich

Wechsel in Fachbereichsleitungen

Ein herzliches **Dankeschön** an unsere zum 31. Dezember 2018 **ausgeschiedenen DGLR-Fachbereichsleiter** für ihre jahrelange ehrenamtliche Tätigkeit:

L1 Luftverkehr

Dr.-Ing. Marco Weiss
Leiter
Dipl.-Ing. Bernhard Kiefner
Stellvertreter

L2 Bemannte Luftfahrzeuge

Prof. Dr.-Ing. Dieter Scholz
Leiter

Wir freuen uns auf die Arbeit unserer neuen Fachbereichsleiter, die zum 1. Januar 2019 ihre **Tätigkeit aufgenommen** haben:

L2 Bemannte Luftfahrzeuge

Dipl.-Ing. Daniel Reckzeh
Leiter
Prof. Dr.-Ing. Eike Stumpf
Stellvertreter

Wir trauern um verstorbene Mitglieder

Prof. Dr. med. Karl Egon Klein
Köln
* 24. 2. 1926 † 29. 7. 2018

Dipl.-Ing. Manfred Degener
Bovenden
* 15. 10. 1947 † 10. 1. 2019

Prof. Dr.-Ing. Olaf H. Peters
Wuppertal
* 17. 7. 1937 † 25. 1. 2019

Unser tiefes Mitgefühl gilt den Familien und Angehörigen.

Nachruf auf Prof. Gero Madelung

Wir trauern um Prof. Gero Madelung, einen großen Luftfahrtpionier, der die deutsche Luftfahrt nach dem Zweiten Weltkrieg entscheidend mitgeprägt hat. Die Luftfahrt verliert mit ihm eine außergewöhnliche Persönlichkeit, die nicht nur in Deutschland, sondern in Europa und weltweit sehr geschätzt wurde und in ihrem industriellen Wirken bei *MBB*, *Panavia*, *Tornado* und *Airbus* besondere Anerkennung erfahren hat. Wichtige industrielle und politische Entscheidungen für den Luftfahrtstandort Deutschland hat er durch sein Engagement und seine internationalen Kontakte vorbereitet und mitgeprägt.

Anstelle einer offiziellen Würdigung folgt hier die **Aufzeichnung eines Gesprächs zwischen Prof. Gero Madelung und Prof. Dr. Dieter Schmitt**, das sie vor einem Jahr anlässlich Madelungs 90. Geburtstags an der *Technischen Universität München* führten und in dem er selbst über die wichtigen Phasen seines Lebenswegs berichtet. Trotz aller Ehrungen und seiner großen internationalen Reputation zeigt Gero Madelung in diesem Gespräch noch einmal seine stets freundliche und den Menschen zugewandte bescheidene Art:

Herr Madelung, Sie haben quasi von beiden Seiten Ihrer Eltern Luftfahrt-Gene in sich. Ihr Vater war in der Luftfahrt als Professor an der Technischen Hochschule Stuttgart aktiv. Ihre Mutter war eine geborene Messerschmitt, die Schwester des Flugzeugkonstruktors Willy Messerschmitt. Das war eine starke Vorprägung. War das manchmal belastend?

Die väterliche Familie war ja keine Unternehmerfamilie, sondern Wissenschaftler. Als Heranwachsender durfte ich mich im väterlichen Institut umsehen. Dort gab es einen großen Windkanal mit zwei mal zwei Meter Durchmesser. In diesen haben mich die wissenschaftlichen Mitarbeiter meines Vaters als Buben reingestellt und den Wind aufgedreht. So konnte ich die Windwirkung wie ein Skispringer erleben, mich gegen den Wind lehnen und die Luft direkt erleben. Das war natürlich hervorragend und motivierend für einen Heranwachsenden. Erst später kam dann die unternehmerische Seite über den Onkel dazu. Ich durfte als Praktikant im Alter von 16 Jahren Metallflugzeugbau lernen.

Willy Messerschmitt war eine große Persönlichkeit. Wir sehen ihn heute eher als historische Gestalt. Wie haben Sie ihn erlebt, persönlich, aber auch als Chef?

In seiner technischen Arbeit war er ein sehr guter Chef. Er ging auf seine Mitarbeiter sehr individuell ein. Natürlich war die Firma nach dem Krieg, als ich dazu kam, sehr klein. Ich war als Konstrukteur tätig. Eine meiner ersten Arbeiten war die Konstruktion eines Motorblocks für einen 800-PS-Wright-Stern-Motor, der in den Trainer von *Hispano Aviación HA 100* eingebaut werden sollte. Dann habe ich ihm meine Pläne vorgelegt! Als er sich meine Konstruktion angesehen hatte, meinte er sehr ernst: „So geht das nicht. Das ist ja viel zu kompliziert. Das ist zu aufwendig mit Vorrichtungen. Da gibt es sechs verschiedene Aufhängungspunkte und die bekommen wir nie richtig zum genauen Einpassen mit unseren Vorrichtungsmöglichkeiten! Das geht so nicht!“

Vor meinen Augen hat er das Ganze dann überarbeitet: „Rohre, die ein Fachwerk bilden und wenn sie dazu noch einigermaßen kräftig sind – und für ein 800-PS-Motor sind das keine ‚fipsigen Rohre‘ – dann halten sie einiges in Bezug auf Biegung aus. Dann musst Du nicht nur die Rohre in diesem Fachwerk streng auf Zug und Druck auslegen, sondern kannst sie als Biegeelemente einsetzen! Damit vereinfacht sich dann die Konstruktion erheblich!“ Das war ein tolles Lehrstück für mich!

Sie haben ja Ihre Ausbildung in Amerika gestartet. Ihr Vater ging nach dem Krieg auf Einladung dort hin und Sie haben Ihren Bachelor gemacht. Zurück in Deutschland haben Sie an der Technischen Universität München 1953 Ihr Diplom gemacht. Gab es auch mal die Idee, in Amerika zu bleiben und dort in den Beruf einzusteigen?

1947 aus dem weitgehend zerstörten Deutschland nach Amerika zu kommen, war schon eine interessante und tolle Erfahrung. Mich hat es insofern auch nicht unbedingt nach Deutschland zurückgezogen. Mein Onkel gab schließlich den Ausschlag, als er in Spanien mit seiner Firma startete und anfang, Flugzeuge zu bauen. Dort ergaben sich interessante Projekte



Bild: R. Raus

Prof. Gero Madelung
* 2.2. 1928 in Berlin
† 13.12. 2018 in München

und es reizte mich, dabei zu sein und Erfahrungen zu sammeln.

Darüber hinaus war es für uns Deutsche nach dem Krieg nicht so einfach, in Amerika zu arbeiten. Wir waren immer noch die Feinde. Ich hätte also nicht so einfach in die kritische Luftfahrtindustrie eintreten können – vermutlich nur mit viel Zeit und Geduld.

Erst 1955 durfte Deutschland wieder aktiv Luftfahrt betreiben. Während des Kriegs gab es viele bekannte und erfolgreiche Flugzeugfirmen wie Junkers, Heinkel, Messerschmitt, Dornier, Blohm und Focke-Wulf – und alle wollten an ihre ruhmreiche Vergangenheit anknüpfen. Die Auftragslage war aber eher niedrig und es kam zu einer großen Fusionswelle. Nach den Zwischenstufen mit dem Entwicklungsring Süd (kurz EWR) und dem Entwicklungsring Nord (ERNO) endete das für Ihren Onkel in der neuen Firma Messerschmitt Bölkow Blohm kurz MBB. Wie haben Sie diese Fusionswelle erlebt?

Das ganze Umfeld der 1950er und -60er Jahre war von Zusammenarbeit geprägt. Man hatte zwar seinen Anstellungsvertrag bei einer Firma, aber die Unternehmen waren gezwungen, unternehmerisch in Arbeitsgemeinschaften zu arbeiten. Das war nicht so ganz einfach. Die ganzen ausgeprägten Unternehmerpersönlichkeiten hatten einen sehr eigenen Willen und wollten vor allem ihre eigene Firma weiterentwickeln.

Aber die Unternehmer waren – das gehört zum Unternehmertum - pragmatisch eingestellt. Wenn ich keine Aufträge habe oder alleine bekommen kann, dann arbeite ich eben in einer Arbeitsgemeinschaft.

Schon das spanische Messerschmitt-Unternehmen in den frühen 1950ern war eine Arbeitsgemeinschaft aus einem Messerschmitt-Team und den spanischen Hispano-Avia-Firmen.

Mit dem EWR kamen in Deutschland der „junge“ **Ludwig Bölkow** mit den „alten“ **Ernst Heinkel** und **Willy Messerschmitt** zusammen. Ich habe so fantastische neue Kollegen erlebt. Wir haben fachlich, pragmatisch und freundschaftlich sehr gut zusammengearbeitet, viel gelernt, interessante Projekte bearbeitet und Produkte entwickelt.

*Voraussetzung für die Luftfahrt ist aber ja immer auch die Politik. Unternehmertum reicht heute nicht mehr aus. Die Entwicklungszyklen sind lang und kostspielig und das Risiko muss hier über staatliche Bürgschaften abgesichert werden. Auch das Unternehmen Airbus erhielt viel politische Unterstützung. In Deutschland wird insbesondere **Franz Josef Strauß** im Zusammenhang damit genannt. Man mag über seine politischen Fähigkeiten und Ergebnisse sicher geteilter Meinung sein, aber es ist sicher unbestreitbar, dass Strauß eine sehr **wesentliche politische Unterstützung** für die Luftfahrt geboten hat und über eine **strategische Weitsicht** verfügte. Doch Politik benötigt ja auch Unterstützung von den Ingenieuren, um sie fachlich zu beraten. Ich weiß, dass Sie ja auch mit Strauß sehr eng zusammengearbeitet haben. Sicherlich gibt es hier auch einiges Interessantes aus Ihrer Sicht zu erzählen?*

Es ist gut hier Franz Josef Strauß zu erwähnen. Er hat zur Durchsetzung und Wiederaufnahme von Tätigkeiten in der Luftfahrt in Deutschland ganz wesentlich beigetragen. Anfang der 1950er Jahre gab es seitens der Großmächte das Bestreben, die Konkurrenz im Zaum zu halten. Nicht überall stieß es auf große Begeisterung, dass Deutschland wieder seine eigene Luftfahrt entwickeln wollte. Die **Bundesregierung**, die außenpolitisch gebunden war, war meines Erachtens **recht verunsichert**. Adenauer war bereit, auf die „Ambition Luftfahrt in Deutschland“ zu verzichten. Es waren eher die Landesfürsten, die Interesse zeigten! Wenn die Bundesrepublik wieder Soldaten und Infanteristen bereitstellen sollte, wollten die **Länder** an der Technologie und Technologieentwicklung beteiligt sein. Sie **übten Druck aus**, damit die Bundesländer Flugzeugbau betreiben durften. In Nordrhein-Westfalen war es Staatssekretär **Brandt** von der SPD, der sich sehr eingesetzt hat.

Trotzdem sticht **Franz Josef Strauß** natürlich heraus! Er war **Aufsichtsratsvorsitzender** der neuen Gruppierung „Airbus“. Airbus war als sogenannte **Airbus GIE** (Groupement d'Intérêt Économique) nach französischem Recht gegründet worden. Ich habe MBB eine Zeit lang im Aufsichtsrat vertreten. Strauß hat persönlich als Vorsitzender die Sitzungen geleitet von denen auch viele in Frankreich stattfanden, in englischer Sprache.

Er hat ein strammes und professionelles Sitzungsmanagement durchgeführt. Morgens um 10 Uhr ging es los. Strauß hatte

eine Menge an Aktenordner dabei. Seine Tochter **Monika Hohlmeier** saß neben ihm und hat die Aktenordner umgeblättert. Er hat dann unterzeichnet. Die Sitzung lief gut, nur die Mittagspause gestaltete sich öfters zu einem Problem! In Frankreich spielt bekanntlich ein gutes Mittagessen eine sehr große Rolle, insbesondere auch im Geschäftsbereich. Aber Strauß machte keine Mittagspause bevor die Tagesordnung nicht durchgezogen war! Bei schwierigen Sitzungen dauerte es teilweise bis 15 oder 16 Uhr. Die Leute wurden zwar zunehmend nervöser, aber Strauß hielt durch und erst danach kam das Mittagessen mit gutem französischen Wein und anderen Köstlichkeiten.

*Ich möchte jetzt noch etwas auf Ihre eigene **berufliche Laufbahn** eingehen. Sie waren Geschäftsführer bei Panavia, der Dachgesellschaft, die die finanzielle Verantwortung für das Tornado-Programm innehatte. Danach waren Sie Anfang der 1980er Jahre Geschäftsführer bei MBB, wo dann auch weitere Bereiche wie Raumfahrt, militärische Systeme und auch Airbus als Verantwortung dazukamen. Danach folgte der Weg zurück in die Wissenschaft mit der Übernahme des Lehrstuhls für Luftfahrttechnik, der an der TU München als Stiftungslehrstuhl eingerichtet worden war. Es ist interessant zu sehen, dass sich hier der Kreis zurück in die Wissenschaft wieder schließt.*

Schon in den 1960er Jahren habe ich im Rahmen meiner Diplomarbeit mit **Julius Kraus**, damals der Inhaber des **Leichtbau-Lehrstuhls** an der TUM – er kam ja von Messerschmitt und war der Chefstatiker in den 1930er Jahren – zusammengearbeitet. Ich sollte einen Pfeilflügel auslegen, konstruieren und dimensionieren und natürlich auch die Festigkeitsrechnung durchführen.

Mit ihm blieb ich auch später in Kontakt. Er wusste, dass ich bei der Senkrechtstarttechnik mit der **EWR VJ 101** und den Nachfolgeprogrammen tätig war. Daraufhin hat sich das Institut – **Erich Truckenbrodt** war der Initiator – sehr stark um eine Ausweitung der Institutsaktivitäten bemüht. Es gab die Lehrstühle für Leichtbau, Aerodynamik, Antriebstechnik und Raumfahrttechnik mit **Harry Ruppe**. Es fehlte aber noch ein Lehrstuhl für Flugzeugentwurf! So wurde ich gefragt ob ich nicht einen



AGARD-Chairman Gero Madelung (rechts) mit seinem AGARD-Direktor Irving C. Statler (links) 1986 in Athen. In der Mitte die griechischen nationalen Delegierten und Gastgeber.

Lehrauftrag für Flugzeugentwurf übernehmen wollte. Es hatte etwas Zureden gebraucht, weil ich natürlich durch die Entwurfsarbeiten in der Industrie mich voll ausgelastet fühlte, aber ich habe mich dann überreden lassen.

Etliche Studenten treffe ich heute immer noch als erfolgreiche Ingenieure in der Industrie. Insofern war ich schon seit 1969 an der TUM im Institut aktiv. Ich war zunächst angehängt am Institut von Harry Ruppe, sodass der Weg in den Stiftungslehrstuhl nicht mehr so groß war. Ich hatte bereits eine ausgearbeitete Vorlesung und musste diese noch ein wenig ausweiten.

Ich war froh über die Beziehung zur TUM, als die große Fusion von MBB mit Daimler kam. Daimler wollte mit ihren eigenen Managementleuten die Firma übernehmen, was zu einer vollständigen Umwälzung in der Managementstruktur führte. Die Altgesellschafter und auch die Messerschmitt-Stiftung wurden herauskomplementiert. So habe ich dann meinen Weg in der **Lehre und Wissenschaft** fortgeführt.

Sie haben aber nicht nur erfolgreich gearbeitet, Sie wurden auch von so mancher Stelle für Ihr Tun ausgezeichnet. Wir sind ja hier von der Royal Aeronautical Society (RAeS) eingeladen, die das Forum heute veranstaltet. Sie sind dort Präsident der Munich Branch und „Honorary Fellow“. Die DGLR hat Sie mit der höchsten Auszeichnung um die Flugwissenschaften, dem Ludwig-Prandtl-Ring geehrt. Die AGARD hat Sie mit dem Theodore von Kármán Award ausgezeichnet und Sie haben das Deutsche Bundesverdienstkreuz erhalten, also fast alle wichtigen Ehrungen, die es im Bereich der Luftfahrt gibt. Wichtig dabei ist ja, dass Sie in wissenschaftlichen Gesellschaften aktiv eingebunden sind und Kontakte aufbauen und pflegen. Wie wichtig sind diese Netzwerke für eine erfolgreiche Karriere?

Mir waren diese wissenschaftlichen Vereinigungen in der Fliegerei immer wichtig. Das ist vielleicht auch etwas familiär beeinflusst. Der Papa war immerhin Gründungsmitglied 1911 der WGL, der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt, die ja Vorläufer der DGLR ist. Auch der Onkel hat Vorträge in der Lilienthal-Gesellschaft gehalten. Ich halte den Zusammenhalt der Flugwissenschaftler und Ingenieure für



Bild: Gero Madelung

Prof. Gero Madelung war bis ins hohe Alter passionierter Segelflieger

wichtig. Ich bin seit längerer Zeit – ich glaube seit 1952 – **Mitglied der DGLR**. Dort war ich auch im Vorstand tätig. Es ist wichtig, sich aktiv hier einzubringen. Ich finde es auch sehr gut, dass der jetzige Lehrstuhlinhaber – **Mirko Hornung** – auch Mitglied im Präsidium der DGLR ist, sich einbringt und dort die Belange der Luftfahrt vertritt und mitgestaltet.

In die RAeS bin ich natürlich durch die Zusammenarbeit von Tornado/MRCA mit internationalen Mitarbeitern in Kontakt gekommen. **Otto Lilienthal** war schon Mitglied in der Royal Aeronautical Society. Ich bin sehr glücklich, dass ich gebeten wurde, da mitzuwirken. Der Munich Branch ist ja eine sehr aktive Gruppe mit **Herrn Henselmann** im Vorstand. Ich kann auch nur die jungen Leute dazu ermutigen: Es kostet zwar auch ein bisschen Zeit sich zu engagieren, aber dieses **Netzwerk gehört zur Fliegerei dazu!**

Ein anderer Punkt ist die aktive Fliegerei. Sie haben schon sehr früh angefangen und bis ins hohe Alter noch erfolgreich Ihr Segelflugzeug geflogen. Wie wichtig ist aktive Fliegerei für einen Luftfahrtingenieur?

Es ist ein großes **Geschenk**, dass mir die Fliegerei möglich war. Es ist mir zuerst praktisch in Amerika gelungen, als ich Jungingenieur bei *General Electric* war. Ich war in einem kleinen Team, das einen alten umgebauten Cadillac als Winde nutzte. Einer hatte ein Schleppflugzeug und wir hatten einen Schweizer Doppelsitzer aus Stahlrohr mit Stoff bespannt. So habe ich mit dem **Segelfliegen** angefangen. Aber

durch die berufliche Einspannung habe ich das Fliegen dann nicht weiter ausüben können.

Erst in Spanien konnte ich wieder mit der **Motorfliegerei** anfangen. Schön klassisch im Doppeldecker, offen, eine *Bücker Jung*, mit Mantel und Schal, das war eine tolle Sache. Die richtige Krönung ist für mich aber doch die Segelfliegerei, der alpine Segelflug! Königsdorf war eine hervorragende Gelegenheit **Alpenfliegerei** auszuüben.

Und nun bitte ich Sie noch um ein Abschluss-Statement für unsere jungen Studenten und wissenschaftlichen Mitarbeiter. Denn sie sind hier und träumen von einer großen und interessanten Karriere und haben natürlich immer die Frage: Wie wird man so erfolgreich? Was kann ich noch tun um eine erfolgreiche Karriere zu starten?

Ich kann den jungen Leuten nur sagen: **„Tut Euch mit guten Kollegen zusammen, das ist das Wichtigste!“**

Mit dem Tod von Prof. Gero Madelung verliert die DGLR eine wichtige Persönlichkeit, die sich sehr für ihre Belange und Interessen eingesetzt und sie unterstützt hat. Wir werden ihn sehr vermissen! ●

Prof. Dr. Dieter Schmitt

Luft- und Raumfahrt

Jahrgang 40
Heft 2/2019

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
Internet: www.dglr.de
E-Mail: info@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)
Caroline Latz M. A. (Redaktion)
Dorothea Lauer (Redaktion)

Redaktionsbeirat

Kai Dürfeld
Alisa Griebler M. Sc.
Dr.-Ing. Christian Gritzner
Dr.-Ing. Cornelia Hillenherms
Anna Maaßen M. A.
Philip Nickenig M. A.
Sascha Rahn M. A.
Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Katharina Schäfer

Grafik

Agentur Salzwasserfuchs
Kerstin Fuchs
Hauptstraße 140 – 144 / 5 / 39
AT-3400 Kierling
Tel.: +43 699 18115110
Internet: www.salzwasserfuchs.com
E-Mail: post@salzwasserfuchs.com

Druck

Forster Media GmbH & Co. KG
Adenauerallee 176
DE-53113 Bonn
Tel.: +49 228 909011 - 0
Fax: +49 228 909011 -22
E-Mail: mail@forstermedia.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

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

Aufgrund der besseren Lesbarkeit wird in den
Artikeln meist nur die männliche Form verwendet.
Die weibliche Form ist selbstverständlich immer
mit eingeschlossen.

Erscheinungsweise

Luft- und Raumfahrt
erscheint 4-mal jährlich + 1 Sonderausgabe



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

Wissenschaftlich-Technische Vereinigung

Präsidium der DGLR

Präsident
Prof. Dipl.-Ing. Rolf Henke

1. Vizepräsidentin
Dr.-Ing. Cornelia Hillenherms

**2. Vizepräsident und
Schatzmeister**
Dipl.-Ing. Heiko Lütjens

Mitglieder des Präsidiums
(in alphabetischer
Reihenfolge)
Dr. rer. nat. Irena Bido
Prof. Dr.-Ing. Mirko Hornung
Dr.-Ing. Rolf Janovsky
Grazia Vittadini

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

Generalsekretär
Philip Nickenig M. A.

Senat der DGLR

Gewählte Mitglieder
01. 01. 2018 – 31. 12. 2020

Eva-Maria Aicher
Prof. Dr.-Ing. Uwe Apel
Prof. Dr.-Ing. Andreas Bardenhagen
Dr. rer. nat. Irena Bido
Dr.-Ing. Harald Buschek
Dr.-Ing. Bernhard Eisfeld
Prof. Dr.-Ing. Stefanos Fasoulas
Dipl.-Ing. Axel Flaig
Prof. Dr.-Ing. Hartmut Fricke
Dr.-Ing. Holger Friehmelt
Dr.-Ing. Christian Gritzner
Prof. Dipl.-Ing. Rolf Henke
Dr.-Ing. Cornelia Hillenherms
Prof. Dr.-Ing. Mirko Hornung
Dipl.-Ing. Claudia Kessler
Dr.-Ing. Jürgen Klenner
Dipl.-Ing. Axel Krein
Prof. Dr.-Ing. Robert Luckner
Dipl.-Ing. Heiko Lütjens
Prof. Dr.-Ing. Peter Middendorf
Dr.-Ing. Detlef Müller-Wiesner
Prof. Dr.-Ing. Rolf Radespiel
Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing.
Katharina Schäfer
Prof. Dr.-Ing. Dieter Schmitt
Dr.-Ing. Michael Sölter
Prof. Dr.-Ing. Eike Stumpf
Prof. Dr.-Ing. Frank Thielecke
Prof. Dr.-Ing. Rainer Walther
Dr.-Ing. Carsten Wiedemann
Dr.-Ing. Frank Zimmermann

Zugewählte Mitglieder
01. 01. 2018 – 31. 12. 2020

Dipl.-Kfm. Ulrich Beck
Dipl.-Ing. Roland Gerhards
Dipl.-Ing. Stefan Hein
Dipl.-Ing. Bernhard Kiefner
Dipl.-Ing. Andreas Lindenthal
Dr.-Ing. André Walter

Ehrenmitglieder

Dipl.-Ing. Horst Demuth
General a. D. Eberhard Eimler
Dipl.-Ing. Jörg Feustel-Büechl
Prof. Dipl.-Ing. Hans Martin Franke
Dr. Dieter Funk
Dr. Alexander Gerst
Prof. Dr.-Ing. Bacharuddin J. Habibie
Dr.-Ing. Horst A. Hertrich
Dr.-Ing. Dietrich E. Koelle
Prof. Dr. rer. nat. Walter Kröll
Prof. Dr. rer. nat. Dipl.-Phys. Reimar Lüst
Hans Lüttgen
Dr.-Ing. e. h. Hartmut Mehdorn
Dr. rer. nat. Dr.-Ing. e. h. Ulf Merbold
Prof. Dr. rer. nat. Ernst Messerschmid
Marlies Mönch
Dipl.-Ing. Hans-Peter Reerink
Dipl.-Phys. Mario H. Rheinfurth
Kurt J. Rossmannith
Konsul Hermann Walter Sieger
Prof. Dr.-Ing. Joachim Szodruich
Prof. Dr.-Ing. Fred Thomas
Prof. Dr. rer. nat. Friedwart Winterberg
Isolde de Zborowski

Call for Papers

Workshop:

Künstliche Intelligenz in der Luft- und Raumfahrt

DGLR-Fachausschuss Q3.4 Softwareengineering

Künstliche Intelligenz (KI) ist in aller Munde. Sie ist Hauptbestandteil der digitalen Revolution, die in Zukunft alle Lebensbereiche durchdringen wird. Die Bundesregierung hat bereits auf die Bedeutung der KI reagiert und die Strategie Künstliche Intelligenz beschlossen. Auch in der Luft- und Raumfahrt wird das Thema immer wichtiger. Prominentes Beispiel dafür ist das Astronauten-Assistenzsystem CIMON, das im Herbst 2018 von Alexander Gerst auf der ISS getestet wurde.

Die Anwendungsmöglichkeiten der KI in der Luft- und Raumfahrt sind vielfältig:

- Pilotenunterstützung, Missionsunterstützung
- Flugplanung, Missionsplanung
- Autonomes Fliegen
- Autonome Steuerung von Satelliten und Explorationsvehikeln
- Training und Simulation
- Automatisierung in Entwicklung und Fertigung
- Automatisierung der Qualitätskontrolle und Nachweisführung
- Predictive Maintenance

Im Workshop „Künstliche Intelligenz“ sollen deshalb u.a. die folgenden Fragen erörtert werden:

1. Welche Methoden, Verfahren und Algorithmen der KI werden in Luft- und Raumfahrtprojekten eingesetzt? Welche Ergebnisse wurden dabei erzielt, und welche Erfahrungen wurden gemacht?
2. Wie können die Konzepte und Algorithmen der KI in eingebetteten, isolierten und weit entfernten Echtzeitsystemen verwendet werden, ohne die schnelle Anbindung an massive Rechenleistung?
3. Wie können KI-Systeme in sicherheitskritischen Anwendungen abgesichert werden?

Für den Workshop suchen wir Vorträge und Erfahrungsberichte aus der industriellen Praxis und der industrienahen Forschung. Dabei sind auch Vorträge aus anderen Fachrichtungen als der Luft- und Raumfahrt willkommen. Jeder Vortrag soll circa 30 Minuten dauern, gefolgt von einer 15-minütigen Diskussion des Themas. Zwecks Vorbereitung wird um die Zusendung einer Kurzfassung des Vortrags bis spätestens **19. Juli 2019** gebeten.

Der Workshop findet am **9. Oktober 2019** an der **Technischen Universität München** in Garching statt. Die Teilnahme ist kostenlos.

Für weitere Informationen und zur Vortragsanmeldung steht Ihnen die Leitung des Fachausschusses Q3.4 zur Verfügung:

Richard Seitz

Airbus Defence and Space

Richard.Seitz@airbus.com

Frank Dordowsky

ESG Elektroniksystem- und Logistik-GmbH

Frank.Dordowsky@esg.de

Mittwoch, 9. Oktober 2019

Technische Universität München in Garching



LIFETIME EXCELLENCE

Triebwerke für Jahrzehnte – die Erfolgsformel der MTU Aero Engines!
Unseren Kunden und Partnern bieten wir Produkte und Dienstleistungen, die den gesamten Lebenszyklus kommerzieller und militärischer Antriebe abdecken. Mit innovativen Technologien und Hightech-Reparaturverfahren entwickeln wir effiziente, nachhaltige Produkte und Lösungen – für die Luftfahrt von morgen.

www.mtu.de