



# KREATIVER SCHUB FÜR ZUKÜNFTIGES FLIEGEN

Elektromobilität am Himmel braucht ganzheitliches Denken

Eine Betrachtung von Jana Hoidis

**D**er globalen Mobilität steht das immer stärker drängende Bedürfnis der Gesellschaft gegenüber, die Auswirkungen des Luftverkehrs auf die Umwelt deutlich zu reduzieren und in Einklang mit den Pariser Klimazielen zu bringen. Gegenwärtig ist der Luftverkehr für 2,8 Prozent aller Kohlendioxid-Emissionen weltweit verantwortlich. Das DLR führt eine Konzeptstudie durch, um bis 2040 ein ökologisch effizientes Flugzeug auf der Mittelstrecke in den Verkehrsflug zu bringen.

Fliegen, ohne das Klima zu beeinflussen, dabei noch wirtschaftlich im Betrieb und in der Produktion zu sein – der Anspruch an das Flugzeug der Zukunft ist hoch. Und widersprüchlich. „Das DLR verfügt über alle Kompetenzen, die nötig sind, um zu eruieren, welche Flugzeuge für welchen Einsatz mit welchen Antrieben und in welchen Flughöhen am umweltschonendsten zu betreiben sind“, sagt Dr. Johannes Hartmann, Leiter des im Januar 2020 gestarteten Projekts EXACT (Exploration of Electric Aircraft Concepts and Technologies). 20 DLR-Institute aus den Bereichen Luftfahrt, Energie und Atmosphärenforschung bringen sich mit ihren Kompetenzen in die Studie ein. Die Planung der Produktion, des Betriebs und der Wartung fließt von Anfang an in das Flugzeugdesign ein. In der Vergangenheit wurden Flugzeuge primär kostengetrieben entwickelt und ihre Klimawirkung wurde erst im Nachgang analysiert. „Wir drehen diesen Prozess somit erstmals um“, erklärt Projektleiter Hartmann, „das ist revolutionär“.

## Dr. Johannes Hartmann

studierte Luft- und Raumfahrttechnik an der Technischen Universität Berlin. Nach einigen Jahren Forschungs- und Entwicklungsarbeit bei Airbus im Bereich der virtuellen Produktentwicklung wechselte er 2018 an das DLR-Institut für Systemarchitekturen der Luftfahrt in Hamburg. Hier beschäftigt er sich mit dem Design und der Entwicklung von Systemarchitekturen für das hybrid-elektrische Fliegen. Johannes Hartmann ist Gesamtprojektleiter der vorgestellten Studie und koordiniert die Arbeiten an den beteiligten DLR-Standorten deutschlandweit. Er ist verheiratet und Vater von drei Kindern, die seine Leidenschaft für Luftfahrzeuge teilen. In seiner Freizeit lässt er gerne mit ihnen zusammen das ein oder andere Modellflugzeug steigen.



© DLR

## Der Weg zum klimaneutralen Flugzeug

Herkömmliche Triebwerke werden permanent weiterentwickelt und sind dadurch schon wesentlich energieeffizienter als noch vor wenigen Jahren. Durch Leichtbauwerkstoffe, optimierte Aerodynamik und bessere Antriebe sind jedoch die Möglichkeiten, ihren Kohlendioxid-Ausstoß noch weiter zu verringern, nahezu ausgereizt. Ein völlig neuer Ansatz muss also her. Elektrische, hybrid-elektrische oder auf Wasserstoff basierende Antriebskonzepte, wie Batterien, Wasserstoff-Brennstoffzellen oder synthetische Kraftstoffe, könnten helfen, klimaschonend und im Betrieb wirtschaftlich zu fliegen. Bis 2040, so das Ziel der DLR-Forscherinnen und -Forscher, soll ein solches Flugzeug mit mindestens 70 Sitzen für eine Strecke von bis zu 2.000 Kilometern einsatzfähig sein.

Kleine Flugzeuge fliegen bereits heute auf kurzen Strecken mit unterschiedlichen Technologien nahezu ohne CO<sub>2</sub>-Emissionen. Im September 2016 startete am Flughafen Stuttgart das weltweit erste viersitzige Passagierflugzeug, das allein mit einem Wasserstoffbrennstoffzellen-Batterien-System fliegt. Entwickelt wurde die Hy4 von dem Unternehmen H2fly, einer Ausgründung des DLR, in Zusammenarbeit mit dem slowenischen Flugzeughersteller Pipistrel. Das im Jahr 2016 erste offiziell zugelassene und zertifizierte Motorflugzeug mit reinem Elektroantrieb war das zweisitzige Kunstflugzeug des Typs Extra 330LE der Firma Siemens.

Flugzeuge mit bis zu 19 Sitzplätzen machen allerdings weniger als ein Prozent der durch die Luftfahrt erzeugten Emissionen aus. „Wir möchten maximal kreativ und radikal an die Entwicklung herangehen, deswegen schauen wir uns verschiedene Flugzeugkonfigurationen mit 19 bis 200 Sitzen an“, erklärt Projektleiter Hartmann. „Vielleicht können wir mit Hilfe von kleinen Flugzeugen zu bahnbrechenden Erkenntnissen gelangen, die sich auch auf größere übertragen lassen.“ Flugzeuge vom Format eines A320 verursachen circa 50 Prozent der Luftverkehrsemissionen. Damit wären auf der Mittelstrecke also erhebliche Einsparungen möglich. Doch nicht nur für das Fliegen an sich, auch für den Betrieb der Bordelektrik wird nach aktuellem Stand der Technik Kerosin in den Flugzeugturbinen verbrannt. Die elektrischen Systeme könnten sich vergleichsweise einfach mit Batterien versorgen lassen. Längere Flüge indessen dürften aus heutiger Sicht nur durch Verbrennung von Kraftstoffen zu bewerkstelligen sein. Power-to-Liquid heißt das Verfahren, mit dem sich Treibstoff aus erneuerbaren Energien herstellen lässt. Bei diesem Prozess wird der Atmosphäre Kohlendioxid entzogen. Mit Wasserstoff reagiert es zu einem Gemisch aus Kohlenwasserstoffen, woraus dann Benzin, Diesel oder Kerosin gewonnen werden kann. Bei

der späteren Verbrennung gelangt nur so viel Kohlendioxid in die Atmosphäre, wie zuvor entnommen wurde: ein Nullsummenspiel also?

## Ökologisch und wirtschaftlich zugleich

Emissionseinsparungen wären schon möglich, wenn herkömmlichem Kerosin synthetische Kraftstoffe beigemischt würden. Diese sind allerdings bisher nur in geringen Mengen verfügbar und unverhältnismäßig teuer. Bei einem Anteil von zehn Prozent Power-to-Liquid-Kraftstoffen würden sich die Betriebskosten einer Airline mit Hauptflugbetrieb in Deutschland um elf Prozent verteuern. Damit Fliegen, ohne das Klima zu beeinflussen, nicht nur ein Traum bleibt, muss ein Flugzeug auch wirtschaftlich zu betreiben sein.

Da Wasserstoff als Ausgangsstoff für synthetische Kraftstoffe so wieso nötig ist, sollen im Projekt EXACT auch Antriebe untersucht werden, die den Wasserstoff direkt verbrennen. Power-to-Liquid-Kraftstoffe sind an sich betrachtet in ihrer CO<sub>2</sub>-bedingten Klimawirkung neutral, allerdings werden auch für ihre Herstellung sowie für den



Im Labor des DLR-Instituts für Technische Thermodynamik in Hamburg werden Brennstoffzellen für die Luftfahrt erforscht

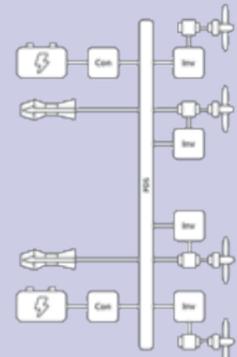
Transport fossile Energieträger verbraucht. Wasserstoff direkt als Kraftstoff zu nutzen, könnte diesen Zyklus abkürzen und zudem Kosten sparen. Der Haken an der Sache: Wasserstoff ist zwar sehr leicht, hat aber ein so großes Volumen, dass ein Flugzeug neu designt werden müsste.

Die Flugzeughersteller nutzen aus wirtschaftlichen Gründen gerne das Prinzip der Kommunalität: Diverse Komponenten können in allen Flugzeugen der gleichen Typenfamilie verbaut werden. Airbus opti-

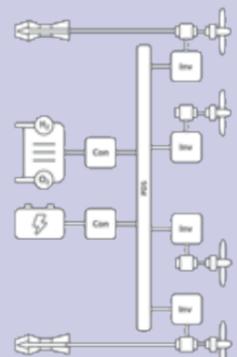
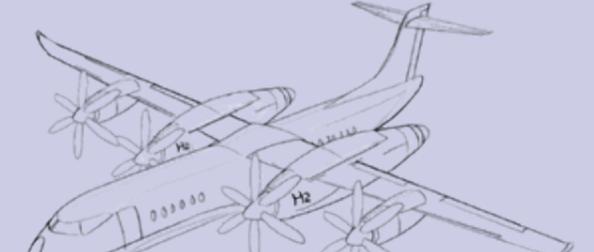
miert so seit jeher seine Produktion. So haben die Flugzeuge A319, A320 und A321 alle das gleiche Seitenleitwerk, obwohl ihre Rumpflängen unterschiedlich sind. Hybrid-elektrische Antriebssysteme unterscheiden sich völlig von denen konventioneller Antriebe und werden andere Anforderungen an die Flugzeugstruktur stellen. Die Frage ist also: Wenn ein Kurzstreckenflugzeug hybrid-elektrisch angetrieben wird, wie muss dann das dazugehörige Mittelstreckenflugzeug aussehen, damit die Produktion noch wirtschaftlich ist?

## ZU UNTERSUCHENDE KONFIGURATIONEN

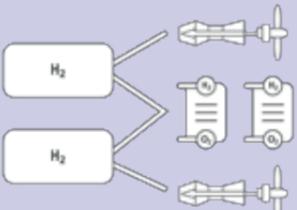
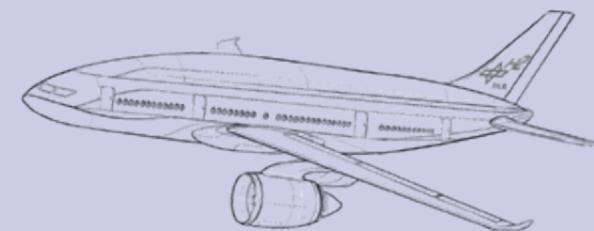
Antriebsarchitektur kombiniert mit Flugzeugkonzept:




Für kleinere, 19-sitzige Flugzeuge, die Strecken bis zu 200 Kilometer zurücklegen, wäre ein vollständig batteriebetriebener Antrieb denkbar. Kraftstoff würde nur als Reserve für den Notfall mitgenommen oder wenn das Flugzeug ausnahmsweise eine längere Strecke fliegt.

Kurzstreckenflugzeuge mittlerer Größe für Strecken bis zu 2.000 Kilometer könnten durch eine geschickte Kombination verschiedener Antriebe CO<sub>2</sub>-Emissionen sparen. Wasserstoff-Brennstoffzellen treiben das Flugzeug während des Reiseflugs und beim Rollen am Boden an. Batterien versorgen die Elektrik an Bord. Bei Start und Landung sorgen Wasserstoff-Gasturbinen für den nötigen Schub.

Flugzeuge auf der Mittelstrecke mit einer Passagierkapazität ab 150 Reisenden, die weiter als 2.000 Kilometer fliegen, benötigen eine höhere Antriebskraft. Gasturbinen, die synthetische Kraftstoffe verbrennen, ermöglichen einen schnellen Reiseflug. Brennstoffzellen werden für den Rollverkehr am Boden genutzt. Beide Systeme parallel eingesetzt erzeugen maximale Energie für den Start.

 Brennstoffzelle  Batterie  Gasturbine | **Con:** Konverter (Umsetzer) **Inv:** Inverter (Wechselrichter) **PDS:** Leistungsverteilungssystem



Projektbesprechung im DLR-Hamburg: Berit Gerlinger, Dr. Kai Wicke, Dr. Johannes Hartmann und Giuseppa Donelli (von links) suchen gemeinsam nach visionären Flugzeugkonfigurationen



### Ein ganz neues Luftfahrtssystem

Als Stellschraube, an der sich im Sinne ökologisch verträglichen Fliegens relativ einfach drehen ließe, käme die Flugzeugflotte infrage. Heute schaffen die Airlines gerne ein „Universalflugzeug“ an, das sie sowohl auf Kurz- als auch auf Mittelstreckenflügen einsetzen können. Piloten, Flugbegleiter und das Wartungspersonal brauchen nur in die Handhabung eines einzigen Typs eingearbeitet zu werden. Das ist praktisch, spart Zeit und Geld, ist ökologisch gesehen allerdings nicht optimal. Hier gibt es enormes Einsparpotenzial. Hartmann sieht hierfür die Lösung in einem angepassten Flottenkonzept: „Abhängig von der Strecke könnten auf kürzeren Flügen Maschinen mit klimaschonenderen Antrieben zum Einsatz kommen.“

Dr. Kai Wicke, der die betriebliche und ökologische Integration der neuen Flugzeugkonfigurationen im Projekt EXACT erforscht, betrachtet auch die Auswirkungen auf das gesamte Luftfahrtssystem: „Ob ein neuartiges Flugzeug mit Wasserstoff, Brennstoffzelle oder Batterie angetrieben wird – spannend wird es, zu klären, welche Auswirkungen dies auf das gesamte Öko- und Luftfahrtssystem hätte, also auf Flughäfen, Airlines sowie auf die Flugsicherung und die Atmosphäre.“ Ein neuartiges Flugzeug wird dieses System beeinflussen und umgekehrt. Würde ein Flugzeug mit Wasserstoff betankt, wären dafür spezielle Zapfsäulen nötig. Wie würden sich Kondensstreifen in der Atmosphäre auswirken, die durch die direkte Verbrennung von Wasserstoff entstehen? Würden diese dann zu verstärkter Wolkenbildung führen und so das Klima wiederum beeinflussen? Batterien müssten geladen und gelagert werden. Und wie sieht überhaupt unser Energiesystem in einigen Jahren aus, wenn Kohlekraftwerke abgeschaltet sind? Können erneuerbare Energien kontinuierlich die erforderliche Strommenge bereitstellen? Wie werden sich die Energiepreise entwickeln? Wie können genügend Batterien produziert werden? Kann man sie am Ende ihres Lebenszyklus wieder recyceln?

All diese Fragen gilt es in den nächsten vier Jahren zu beantworten. Bis dahin soll ein erstes Konzept stehen. Die Flugzeugingenieure, Atmosphärenforscher und Elektrotechniker aus den verschiedenen DLR-Instituten arbeiten gemeinsam daran, valide Modelle aufzustellen und möglichst viele Antworten zu finden. Hartmann blickt enthusiastisch in die Zukunft: „Das DLR kann im Projekt EXACT seine einzigartige Expertise unter Beweis stellen.“

Jana Hoidis ist im DLR mit der Kommunikation für die Standorte Nord (Hamburg, Bremen, Bremerhaven und Oldenburg) betraut.

### AM PROJEKT EXACT BETEILIGTE INSTITUTE:

- Institut für Aeroelastik
- Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
- Institut für Antriebstechnik
- Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie
- Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptionik
- Institut für Flugsystemtechnik
- Institut für Flughafenwesen und Luftverkehr
- Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin
- Institut für Instandhaltung und Modifikation
- Institut für Physik der Atmosphäre
- Institut für Softwaretechnologie
- Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt
- Institut für Softwaremethoden zur Produkt-Virtualisierung
- Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik
- Institut für Technische Thermodynamik
- Institut für Vernetzte Energiesysteme
- Institut für Verbrennungstechnik
- Institut für Werkstoff-Forschung
- Lufttransportsysteme
- Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie