

Die Zukunft fliegt elektrisch!

Vom Lufttaxi bis zum Regionaljet



Konzepte wie im EU-Projekt myCopter sollen zukünftig innerurbanen Luftverkehr ermöglichen



Bild: DLR

Das erste mit Wasserstoff-Brennstoffzellen betriebene Segelflugzeug Antares DLR-H2 hob bereits 2009 ab

Während man elektrisch betriebene Kraftfahrzeuge immer häufiger im Straßenverkehr sieht, befinden wir uns auf dem Gebiet der elektrischen Flugzeuge noch ganz am Anfang. Dabei arbeitet die Industrie schon länger an einem *More Electric Aircraft*, also an einem Luftfahrzeug mit zunehmend elektrifizierten Bordsystemen. So fliegt die A320 seit den 1980er Jahren mit einem elektrischen Steuerungssystem „by wire“, eine elektrische Klimaanlage findet sich bereits in der B787 und auch elektrische Bugfahrwerke wurden zumindest experimentell betrieben. Das *All Electric Aircraft*, mit elektrischem Hauptantrieb, steckt dagegen noch in den Kinderschuhen. Aus diesen wird es aber in den nächsten Jahren rasant herauswachsen. Dabei müssen sich die großen Luftfahrtunternehmen vorsehen, damit sie ihren Vorsprung gegenüber neuen Akteuren auf dem Markt halten. Denn im Straßenverkehr gehören neue Marken wie Tesla bereits zu den Schlüsselakteuren und konkurrieren mit etablierten Marken wie Audi, BMW oder Mercedes.

Gerade für den potenziellen Markt des **urbanen Lufttransports** bringen sich **neue Firmen** aus dem Umfeld des Silicon Valley bereits in Position und wollen die Zukunft mitgestalten. Der Fahrdienstvermittler *Uber* beispielsweise identifizierte in seinem White Paper vom Oktober 2016 mehrere Problemfelder in den Bereichen Zulassung, Technologie, Betrieb und Infrastruktur, die dem innerstädtischen Lufttaxi unmittelbar im Wege stünden. Die Antwort auf einige dieser Fragen könnte lauten: „elektrisches Fliegen“. Elektrische Antriebe könnten Energie, Lärm und Emissionen einsparen und so auch im innerstädtischen Verkehr eingesetzt werden.

Erste Elektroflieger in der allgemeinen Luftfahrt

Erste vollelektrische Flächenflugzeuge präsentierten die Flugschauen der letzten Jahre im Bereich der allgemeinen Luftfahrt. Segelflugzeuge wie der ASG 32 fliegen seit 2015 mit batteriebetriebener Heimkehrhilfe im Leistungsbereich von 25 Kilowatt und sind mittlerweile als Serienflugzeuge erhältlich. Auch der *Alpha Electro* ist seit 2015 mit einem 60-Kilowatt-Elektromotor in der Luft. Der slowenische Hersteller *Pipistrel* des ultraleichten Trainingsflugzeugs versteht sich als Pionier der Elektroflie-

geri. Bereits 2011 gewann dessen vollelektrischer Technologieträger *Taurus G4* mit einer Leistung von 145 Kilowatt die **NASA Green Flight Challenge** gegen den zweitplatzierten *e-Genius* der Universität Stuttgart.

Um die **Reichweite** ihrer Flugzeuge zu erhöhen, gingen die beiden Konkurrenten der Green Flight Challenge unterschiedliche Wege. Während der Stuttgarter *e-Genius 2016* mit einem Wankel-Motor ausgestattet wurde, schloss sich *Pipistrel* mit der Brennstoffzellen-Forschergruppe des *Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR)* am Standort Stuttgart zusammen. Die Gruppe hatte bereits 2009 das erste rein mit Wasserstoff-Brennstoffzellen betriebene Elektrosegelflugzeug *Antares DLR-H2* entwickelt, gebaut und geflogen. 2016 stellte das Team basierend auf dem *Taurus G4* den ersten fliegenden Hybridantrieb mit Brennstoffzellen und Batterien vor. Der viersitzige Prototyp *HY4* hob nur zwei Wochen nach dem ersten Hybridflug des *e-Genius* im September letzten Jahres zum Erstflug ab.

Der Trend zu Elektroflugzeugen bringt aber auch **Player aus anderen Branchen** auf den Plan. Der derzeit **stärkste Elektromotor** in der Luftfahrt mit 260 Kilowatt wird seit Mitte 2016 im Kunstsportflugzeug *Extra 330LE* von Siemens erprobt. Der Elektrotechnikkonzern entwickelte bereits 2011 zusammen mit EADS und Diamond das weltweit erste hybridelektrische Flugzeug mit der DA36 E-Star. Seitdem hat sich das Leistungsgewicht des Motors verfünffacht. Siemens möchte das selbstgesetzte Ziel des Faktors zehn erreichen, um in der Luftfahrtindustrie Fuß zu fassen.

Elektroantriebe für Passagierflieger

Die großen Flugzeughersteller denken mit den Konzeptstudien *E-Thrust* (Airbus) und *SUGAR Volt* (Boeing) bereits in Richtung elektrisch angetriebener Flugzeuge der *Airbus-A320-* und *Boeing-B737-Klasse*. Dieses Fernziel steht für die Flugzeugentwicklung in den nächsten zwanzig Jahren. Beide Konzerne setzen dabei auf den **Hybridantrieb**. Dazu müssen sie den Weg über die schrittweise Entwicklung von kleineren zu größeren Systemen nehmen. Hier haben die europäischen Projekte derzeit die Nase vorne.



Bild: DLR

Die beteiligten Wissenschaftler schieben den Brennstoffzellen-Batterie-Hybriden HY4 nach dem erfolgreichen Erstflug in Stuttgart vom Rollfeld

So schlossen sich 2016 die beiden europäischen Schwergewichte Siemens und Airbus zusammen, um gemeinsam das **E-Aircraft-System-House** mit 200 Mitarbeitern in Ottobrunn bei München aufzubauen. **Dreistellige Millionenbeträge** werden dort in die Entwicklung eines hybridelektrischen Zwei-Megawatt-Antriebsstrangs für einen zukünftigen *E-Fan X* investiert. Zusätzlich investieren sowohl Airbus als auch Boeing verstärkt in Start-ups, die mit neuen Ideen und schnellen Entwicklungen die Luftfahrt revolutionieren wollen.

Solch hohe Summen und eine agile Herangehensweise sind auch notwendig. Denn einige grundlegende Fragen des Elektroantriebs sind noch weitgehend ungeklärt und bedürfen weiterer Forschung, Entwicklung und – vielleicht noch wichtiger – Experimente.

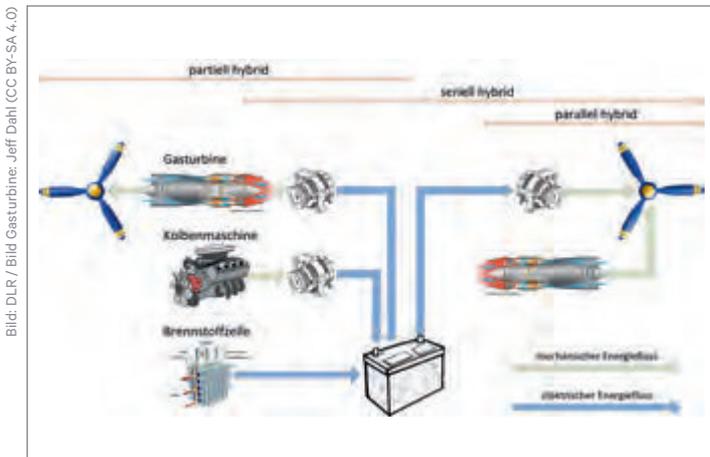
Herausforderungen für die Elektrofliegerei

Ein wichtiger Aspekt für die Umsetzung eines voll- oder hybridelektrischen Antriebs sind **Energiespeicher**. Hocheffiziente Segelflugzeuge können den Reiseflug allein mit **Batterien** schon über eine Stunde verlängern. Für weniger effiziente Konfigurationen wie Multikopter oder Motorflugzeuge hält sich dagegen

hartnäckig eine Grenze von etwa 20 Minuten Flugzeit – ausreichend nur für sehr kurze Strecken im vollelektrischen Flug. Für schwerere Flugzeuge und größere Reichweiten wären Batterien nach dem heutigen Stand der Technik als primäre Energiespeicher deutlich zu schwer. Für eine vollelektrische A320 müssten für 20 Minuten Flugzeit beispielsweise über 50 Tonnen Batterien eingeplant werden. Das wären etwa zwei Drittel des maximalen Startgewichts, also keine Option für die kommerzielle Luftfahrt.

Aus diesem Grund wird, ebenso wie in der Automobilindustrie, an **Hybridlösungen** geforscht. Hybridelektrische Konzepte kombinieren die Flexibilität von Batterien mit der Energiedichte von chemischen Energieträgern. Die Grundidee ist, den kontinuierlichen Leistungsbedarf für den Reiseflug aus hochenergetischen Kraftstoffen (zum Beispiel Kerosin) zu beziehen und Leistungsspitzen für Start und Manöver mit Pufferbatterien abzudecken. So wird – wie bei Elektrofahrzeugen – die Reichweite erhöht. Derzeit gibt es **drei verschiedene Grundansätze**, um einen solchen Antrieb umzusetzen. Bei einer **seriell-hybriden** Architektur speist eine Gasturbine ihre gesamte Leistung in das elektrische Bordnetz ein. Dieses treibt mit der gewonnenen Energie über elektrische Motoren einen oder mehrere Propeller an. Bei einem **partiell-hybridisierten** Flugzeug wird die elektrische Leistung direkt einem vorhandenen konventionellen Triebwerk entnommen. Bei einer **parallel-hybriden** Architektur treibt der Elektromotor den Propeller parallel zum konventionellen Triebwerk an.

Die Architektur eines **konkreten hybridelektrischen** Antriebsstrangs kann diese drei Grundkomponenten beliebig komplex kombinieren. Zusätzlich sind **verschiedenste Arten von Energiewandlern** denkbar, die einen Treibstoff in elektrische Energie umwandeln. Das können zum Beispiel Gasturbinen und Kolbenmaschinen mit Generatoren oder auch Brennstoffzellen sein. Im Hinblick auf eine möglichst emissionsarme Luftfahrt versprechen gerade Wasserstoff-Brennstoffzellen extrem geringe Emissionen, die nur aus gasförmigem Wasser bestehen. Selbstverständlich müssen dabei streng genommen – wie bei der elektrischen Ladung der Batterien auch – der Herstellungsprozess und dabei anfallende Emissionen mit betrachtet werden. Aber auch mit konventionellen Energieträgern kann bei diesen



Für die Hybridisierung von Luftfahrtantrieben wird eine Fülle von Architekturen diskutiert

Konzepten schon Energie eingespart werden. Läuft der Verbrennungsprozess immer im optimalen Betriebspunkt ab und muss nicht für dynamische Lasten ausgelegt werden, wird weniger Treibstoff benötigt.

Vor- und Nachteile des Hybridantriebs

Ein wichtiger – wenn nicht der wichtigste – Vorteil des elektrischen Luftfahrtantriebs sind die neuen Möglichkeiten im **Flugzeuggesamtentwurf**. Die viel leichteren und günstigeren Elektromotoren können an Stellen eingebaut werden, die für konventionelle Antriebe völlig ungeeignet wären. So sind neue Konfigurationen mit verteilten, hoch-integrierten oder gar grenzschichtabsaugenden Antrieben umsetzbar. Wie so etwas aussehen kann, zeigt die NASA mit ihrem **X-57-Demonstrator**. Der Technologieerprobungsträger soll mit 14 über die Flügel verteilte Elektromotoren angetrieben werden. Die Vorteile solcher Konfigurationen reichen von der effizienteren Umströmung des Flügels über den reduzierten Widerstand bis hin zu neuen Möglichkeiten der Steuerung. Beispielsweise könnten Propeller an den Flügelspitzen deren Wirbelschleppen verringern und das Seitenruder unterstützen. Auch die hohe Dynamik der Elektromotoren sorgt für weitere Freiheitsgrade. Ein Multikopter kommt zum Beispiel komplett ohne verstellbare Teile aus und kann rein über die Motordrehzahl gesteuert werden – eine immense Erleichterung gegenüber den komplizierten Getrieben heutiger Helikopter.

Die **Lärmemissionen** werden durch ein hybridelektrisches Antriebskonzept ebenfalls deutlich reduziert. So können lärmreiche Komponenten wie Gasturbinen in besser isolierte Bereiche des Flugzeugs eingebaut werden. Dabei kann auch der turbulente Abgasstrahl reduziert und besser abgeschirmt werden. Außerdem können die Propellergeräusche dadurch reduziert werden, dass das hohe Drehmoment des Elektromotors ausgenutzt wird, um den Propeller bei wesentlich niedrigeren Drehzahlen zu betreiben.

Entscheidender **Nachteil** eines hybridelektrischen Systems sind seine Komplexität und sein im ersten Schritt noch immer deutlich erhöhtes Gewicht im Vergleich zu einem rein konventionellen Antrieb. Die neue Architektur mit ihren zusätzli-

chen Komponenten tritt zudem gegen eine ausgereifte Gasturbinentechnologie an und muss in ihrem Zusammenspiel optimal betrieben werden, um die erhofften Effizienzvorteile zu erreichen. Ein wichtiger Aspekt ist dabei die **Abwärme** der elektrischen Komponenten. Denn bei der Erzeugung und Übertragung von elektrischer Energie geht immer ein Teil als Wärme verloren. Diese Verlustleistung steigt, je leichter und je länger das Kabel ist. Schon ein Prozent als Wärme abgegebene Verlustleistung kann für ein Flugzeug in der A320-Klasse einen Energieverlust von 400 Kilowatt ausmachen. Diese Wärme muss sinnvoll abgeführt und idealerweise genutzt werden, beispielsweise für die Klimatisierung. Der neue Antrieb hat also auch Auswirkungen auf weitere Bordsysteme. Zu den technischen Herausforderungen gesellt sich außerdem eine Unsicherheit in der Zulassung der Systeme. Dies schafft Raum für Ängste – aber auch für Möglichkeiten, denn die Behörden denken bereits darüber nach, zukünftige Zulassungswege wesentlich flexibler zu gestalten als bisher.

Ein Blick in die Zukunft

Insgesamt werden durch die Einführung von hybridelektrischen Antrieben Energieeinsparungen von etwa 20 Prozent diskutiert. Der ökologische Nutzen und die Effizienzvorteile des elektrischen Antriebs werden aber erst in den Details des Entwurfs sichtbar und sind stark vom Anwendungsfall abhängig. Für eine faire Bewertung der Umweltbilanz muss dabei neben dem reinen Antriebsstrang die gesamte Kette von der Erzeugung des Kraftstoffs bis zum kompletten Luftverkehrssystem betrachtet werden. Zusätzlich sind auch einige grundlegende technologische Fragen noch ungeklärt.

Um sich diesen **Herausforderungen** anzunehmen, bedarf es einer koordinierten Herangehensweise über alle Fachdisziplinen und über die gesamte Produktpalette hinweg. Die Technologielandschaft in Deutschland ist für diese Herausforderung hervorragend aufgestellt. Es finden sich hierzulande sowohl große Industrieunternehmen, die bereit sind in hybridelektrische Luftfahrtprodukte zu investieren, als auch Universitäten mit Spitzenforschung in allen Bereichen. Besondere Synergien werden sich auch zu anderen Zukunftsthemen wie der Elektromobilität an Land und zu Wasser oder zu erneuerbaren Energien ergeben – Themen, bei denen Deutschland und Europa führende Positionen einnehmen. Aufgabe der Politik und der Interessenverbände wird es sein, diese Querverbindungen aufzuzeigen und den Austausch zu beleben.

Insbesondere werden wir schnelle und flexible **Erprobungsmöglichkeiten** in der Simulation, am Boden und in der Luft benötigen, um den großen Schritt von heutigen elektrischen Kleinflugzeugen zu elektrischen Verkehrsflugzeugen zu schaffen. Hierbei werden unabhängige Großforschungseinrichtungen wie das DLR sicherlich eine integrierende Rolle spielen. Auf jeden Fall sind in der nächsten Zeit größere Entwicklungen zu erwarten. Es bleibt also spannend! ●

Dr. Andreas Klöckner
 Programmdirektion Luftfahrt
 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
 (DLR)

Bild: NASA



Elektrische Antriebe erlauben komplett neue Flugzeugkonfigurationen wie hier beim NASA-X-57-Demonstrator