

## All Electric Aircraft

Zunehmende Umweltauflagen und steigende Kraftstoffpreise haben in der Luftfahrtindustrie zu Überlegungen geführt, die über die graduellen Fortentwicklungen der Triebwerkseffektivitäten durch thermodynamische Verbesserungen der Verbrennungskraftmaschinen und effektivere Fanantriebe hinausgehen. Hier steht zunächst die zunehmende Nutzung elektrischer Aktoren als Ersatz für bisher pneumatisch oder hydraulisch betriebene Stellantriebe an Bord von Flugzeugen im Mittelpunkt. Diese Entwicklung ist bei der Realisierung sogenannte More Electric Aircraft bereits relativ weit fortgeschritten. In All Electric Aircraft soll schließlich auch noch der Vortrieb auf der Nutzung elektrischer Energie basieren. Dafür gibt es verschiedene Ansätze, die bis hin zur Versorgung der Elektromotoren aus an Bord mitgeführten Batterien reichen. Derartige Konzepte sollten langfristig sogar für Passagier- und Transportmaschinen im Regionalverkehr realisierbar sein.

In More-Electric-Aircraft wird die erforderliche elektrische Energie z.B. durch vergrößerte Generatoren oder auch durch zusätzliche Brennstoffzellen-Anlagen an Bord erzeugt. Prototypisch realisiert werden konnte z.B. bereits das elektrische Bewegen eines Passagierflugzeugs am Boden (Taxiing). Dabei erhielt das Bugrad einen Elektromotor, der von einer Brennstoffzelle mit Strom versorgt wurde und so den Kraftstoffverbrauch für das Rollen am Boden deutlich senken konnte.

Der Vortrieb von All Electric Aircraft erfolgt durch (möglicherweise ummantelte) Propeller oder Fans, die von Elektromotoren angetrieben werden. Als Energiequellen hierfür kommen neben Vollhybriden auch Brennstoffzellen oder im Prinzip sogar Solarzellen in Frage. Von besonderem Interesse ist die Nutzung nachladbarer Batterien für die Stromversorgung.

Vollhybridantriebe für Flugzeuge werden auf Verbrennungskraftmaschinen (insbesondere Gasturbinen) mit nachgeschalteten Generatoren basieren. Sie verbrennen weiterhin Kohlenwasserstoffe, allerdings kann die Gasturbine dabei ständig im optimalen Betriebspunkt arbeiten und an einem beliebigen Ort im Flugzeug untergebracht wer-

den. Leistung und Reichweite des Antriebs werden durch den Kraftstoffvorrat bestimmt, so dass auch große Maschinen für große Reiseentfernungen gebaut werden können. Mit einer Verbreitung derartiger Vollhybride in der kommerziellen Luftfahrt kann in ca. 40 Jahren gerechnet werden. Erste Prototypen sehr kleiner Maschinen konnten bereits realisiert werden.

Brennstoffzellen liefern zwar abgasfrei Strom, sind aber zu voluminös, wenn größere Leistungen abgegeben werden müssen, wie dies Passagier- und Transportmaschinen erfordern. Das optimale Brennstoffzellen-Verfahren mit gekühltem, verflüssigtem Wasserstoff erfordert obendrein eine eigene Logistik sowie gekühlte Druckbehälter an Bord. Brennstoffzellen werden also auch auf absehbare Zeit eher Energiequellen für Hilfsantriebe an Bord sein.

Möglicherweise auf der Außenhaut angebrachte Solarzellen werden auch in Zukunft nicht genügend Energie für den Antrieb schwerer Maschinen liefern können. Sie kommen lediglich für Ultraleichtanwendungen, wie z.B. Aufklärungs-Höhenplattformen, in Frage.

Batterien können im Prinzip ausreichende elektrische Leistungen (Energie pro Zeit) zur Verfügung stellen. Problematisch ist allerdings ihre bisher zu geringe gewichtsbezogene Energiedichte. Sollte es gelingen, diese um mehr als das Fünffache zu steigern, wären „Single Aisle“ Passagiermaschinen (mit Standardrumpf) für den Regionalverkehr (ca. 100 Passagiere und ca. 500 km Reichweite) mit Batterieantrieb möglich. Eine entsprechende Entwicklung der Batterietechnik wird für die nächsten beiden Jahrzehnte erwartet. Das Problem der zeitraubenden Aufladung der Batterien wäre durch Austausch von Batterieeinschüben und deren Aufladung am Boden lösbar.

Der Übergang zum All-Electric Aircraft hängt auch wesentlich von der Qualität der elektrischen Wandler (Generatoren und Motoren) ab. Hier sind bürstenlose und damit verschleißarme permanenterregte Motoren bzw. Generatoren die beste Lösung. Wesentlich ist auch der Einsatz von Hochtemperatursupraleitern, da konventionelle elektrische Leiter Gewichtsproble-

me aufwerfen. Hier existieren bereits im Prinzip geeignete technische Lösungen. Derzeit kommen auf Hochtemperatursupraleitern basierende Motoren auf den Markt. Zukünftig sollen diese sogar die massebezogene Leistung von Gasturbinen übertreffen.

Da es schwierig ist, mit rein elektrischen Propeller- oder Fanantrieben die Leistungsdichten großer konventioneller Flugtriebwerke zu erreichen, werden All Electric Aircraft möglicherweise anders aussehen als herkömmliche Flugzeuge. Die in diesem Zusammenhang zu ergreifenden technischen Maßnahmen wären im Prinzip bereits heute realisierbar. So wird es bei dieser neuen Art von Flugzeugen zum einen darauf ankommen, die Auftriebsleistung der Flugzeugstruktur insgesamt zu verbessern. Dies führt z.B. zu anderen Flügelkonfigurationen, wie Box-Wing-Flügeln (quasi eine moderne Doppeldecker-Variante) oder zu Wing-in-Body-Konfigurationen, wo durch den gleichmäßigen Übergang der Flügel in den breiten Rumpf auch der Rumpf zum Auftrieb beiträgt.

Besonders bedeutsam wird in diesem Zusammenhang der Übergang zu stärker verteilten Antrieben sein. Heutige Flugzeuge beschränken sich auf meist nur zwei oder vier Triebwerke. Von Elektromotoren angetriebene, ummantelte Propeller oder Fans könnten in größerer Zahl als heute über die Struktur verteilt angebracht werden. Der aerodynamische Vorteil hierbei ist, dass der von ihnen erzeugte Luftstrom nicht wesentlich schneller als die Fluggeschwindigkeit ist, insgesamt aber einen großen Massendurchsatz aufweist. Gleichzeitig wäre ein solcher Antrieb auch leiser.

Spätestens langfristig ist also mit einer Verbreitung von All Electric Aircraft zu rechnen. So könnten Regionalflugzeuge und kleinere Transporter (7,5 bis 10 t Zuladung) mit Batterieantrieb bereits in etwa 25 Jahren machbar sein. In ca. 40 Jahren kann mit Vollhybridantrieben auch für große Langstreckenmaschinen gerechnet werden. Wo extreme Antriebsleistungen erforderlich sind, wie bei Kampfflugzeugen, werden aber auch weiterhin Turbinenriebwerke erforderlich bleiben. **Wolfgang Nätzker**