

Neue Energietechnologien – zum Nachdenken

Fliegen im Treibhaus

Merkwürdig, zwei Entwicklungsrichtungen stehen gegeneinander: Nach den großartigen Entwicklungen von den ersten Motorflügen der Gebrüder *Wright* 1903 mit zwei Passagieren an Bord zu den Jumbos 60 Jahre später mit 400 Passagieren, von den Propellermaschinen zu den Jets, von den Ganzmetallkonstruktionen zu Flügeln und Rümpfen aus faserverstärkten Kunststoffen sind die Fortschritte zwar nicht stehengeblieben, aber sie sind nur mehr graduell, nicht mehr prinzipiell.

Und die gegenläufige Entwicklungsrichtung? Es wird zunehmend über die Umwelt- und Klimaökologie der Luftfahrt diskutiert, die Stimmen werden lauter, die Argumente griffiger: Ja, Luftfahrt liefert zwar mit wenigen Prozent »nur« einen kleinen Beitrag

zum anthropogenen Treibhauseffekt, und die Minderung des Kerosinverbrauchs durch bessere Aerodynamik und Flugführung, Fortschritte in der physikalischen Chemie der Verbrennung und der Aero-Thermodynamik der Jettriebwerke sind beachtlich. Aber Flugzeuge fliegen nun mal in Höhen oberhalb der Tropopause, wo der Mensch der einzige Verschmutzer ist, und der Kohlenstoff im Kerosin verbrennt zum Treibhausgas Kohlendioxid, wie effizient die Verbrennung auch immer ist. Was die Gegenläufigkeit aufhebt, ist nichts anderes als ein Entwicklungssprung der vorbeschriebenen Größenordnung, den es nach Jahrzehnten der Entwicklungsdetails unabweislich geben wird: Wasserstoff.

In der *Tafel* sind wesentliche Entwicklungskriterien je eines Kerosin-(Jet A-) und Wasserstoff-(LH₂-)betankten Passagierflugzeugs (Mach 0,85, 400 Passagiere) miteinander verglichen. Die Zahlen sprechen für sich; hier wenige Erläuterungen: Die beiden unbetankten Flugzeuge sind etwa gleich schwer, aber mit Wasserstoff betankt wird das Flugzeug um bis zu 37 % leichter. Die Flügelspannweite wird kleiner, die Startbahn kürzer, die Zahl der Passagiere oder das Frachtgewicht nehmen zu. Alles zusammen bei einem Treibstoffverbrauch, der um 11 % geringer ist.

Wo also liegen die Hindernisse? Seit der legendären Stuttgarter Konferenz 1979 »Hydrogen in Air Transportation« sind die Fortschritte marginal geblieben. Da sind zum einen Hindernisse in den Infrastrukturen, in

| | | Jet A | LH ₂ | Verhältnis LH ₂ /Jet A |
|--|----------------|---------|-----------------|--------------------------------------|
| Abflug-Bruttogewicht | kg | 237 730 | 177 700 | 0,749 |
| Leergewicht | kg | 110 000 | 109 000 | 0,991 |
| getankte Treibstoffmenge | kg | 75 070 | 23 990 | 0,230 |
| Gesamttriebstoffmenge | kg | 86 550 | 27 940 | 0,323 |
| Tragflächenfläche | m ² | 388,9 | 312,4 | 0,803 |
| Verhältnis Auftrieb/Widerstandskraft bei Reisegeschwindigkeit | – | 17,91 | 16,07 | 0,897 |
| Gewichtsanteil Treibstoff | % | 36,5 | 15,2 | 0,416 |
| Gewichtsanteil Nutzlast | % | 16,8 | 23,6 | 1,40 |
| Gewichtsanteil Struktur | % | 26,0 | 32,4 | 1,25 |
| Gewichtsanteil Antrieb | % | 6,4 | 9,1 | 1,42 |
| Gewichtsanteil restl. Ausrüstung | % | 14,3 | 19,7 | 1,38 |
| Energieverbrauch | kJ/nmi Sitz | 1 460 | 1 307 | 0,89 |

den »bremsenden« etablierten Strukturen, die für Verlässlichkeit und Erfahrung stehen, und den neuen, noch fehlenden Strukturen des Wasserstoffs. Da sind zum anderen die Wasserstoffkosten, die gewiss in einer Übergangszeit kleiner Produktionsmengen noch höher sein werden als die Kerosinkosten. Aber da sind auch die externen Umwelt- und Klimakosten, die bisher nicht internalisiert sind. Und da ist ein positiver exergetischer Tatbestand, den es so nur bei Flüssigwasserstoff (LH₂) gibt: die Aufteilung in chemische Exergie des Treibstoffs (89 %) zur Verbrennung in den Triebwerksbrennkammern und die thermomechanische Exergie bei –253 °C (11 %), der die Flugzeugoberfläche kühlt und damit den frühen Umschlag von verlustarmer laminarer in verlustreiche turbulente Umströmung verhindert. Dieser vermeintlich kleinere Einfluss ist der wichtigere: Er reduziert den Treibstoffverbrauch um bis zu 30 % und (über)kompensiert so die Verluste der vorgelagerten Glieder der Wasserstoffenergieumwandlungskette.

Die bevorstehende Klimakatastrophe verlangt den konsequenten Übergang auf Wasserstoffflugzeuge. Ihre Indienststellung setzt Jahrzehnte der Entwicklung voraus. Das Klima wartet nicht. Es ist überfällig, Wasserstoffflugzeuge auf die Startbahn zu bringen.

Quellen: Brewer, D. G.: Hydrogen Aircraft Technology, CRC Press Inc. 1991, und Scott, D. S.: Smelling Land – The Hydrogen Defense against Climate Catastrophe, 2007, ISBN 978-1-896881-73-7, www.h2.ca (37653) www.itsHYtime.de