

# ELEKTRISCH FLIEGEN

## EIN KOHLENSTOFFFREIER LUFTVERKEHR IST EINE KOMPLEXE AUFGABE



Bild 1: Der einem Hubschrauber ähnliche Volocopter wird in Dubai getestet. Er soll als Luft-taxi Gäste vom Flughafen direkt auf das Dach ihres Hotels bringen.

Eine Verkehrswende im Sinne einer Dekarbonisierung kann und darf vor dem Flugverkehr nicht halt machen, zumal dessen Emissionen seit Jahren nur einen Weg kennen: nach oben! Das Fliegen trägt mit rund fünf Prozent zur globalen Klimaerhitzung bei und die Zahl der weltweiten Passagierkilometer steuert, seit Jahrzehnten steigend, inzwischen die Zahl von 7 Milliarden an. Zwar sinkt auch der Treibstoff-Verbrauch pro Personenkilometer, aber dieses Sinken geschieht lange nicht so schnell wie der Anstieg der Personenkilometer selbst. Und diese Kilometerzahlen könnten sich in den nächsten 15 Jahren verdoppeln – ein Teil der dafür benötigten Flugzeuge ist heute schon bestellt bzw. optiert. Dabei verbraucht schon ein A380 auf der Strecke London–New York 115.000 Liter Kerosin, was 92 Tonnen Treibstoff entspricht. Pro Tonne Kerosin werden dabei 3,16 Tonnen CO<sub>2</sub> emittiert.

Wie also kann eine Verkehrswende im Luftverkehr aussehen, was sind die grundsätzlichen Probleme und Optionen? Dazu muss man verschiedene Teilabschnitte dieses Verkehrssegments betrachten.

### Antrieb

Die Luftverkehrswirtschaft würde selbstverständlich am liebsten so weiter machen wie bisher: mit Düsenantrieb und Flüssigtreibstoffen. Natürlich

möchte man die fossilen Treibstoffe durch Agrarkraftstoffe („Biokraftstoffe“) oder synthetische Treibstoffe aus Power-to-X-Verfahren ersetzen, schon um ökologisch bedingte Einschränkungen zu vermeiden und das eigene Geschäftsmodell nicht zu gefährden. Aber auch diese Alternativen schleppen zwei Probleme mit sich:

A. Neben den wirksamen Klimagasen wie Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Methan (CH<sub>4</sub>) transportieren Düsenabgase zusätzlich auch Wasserdampf („Kondensstreifen“), Kohlenwasserstoff (CH), Schwefeldioxid und Ruß in große Höhen, wo diese Stoffe besonders klimaschädlich sind. Dies würde sich auch durch den Umstieg von fossilen auf regenerative Treibstoffe nicht ändern.

B. Die Energieverluste bei Herstellung, Transport und Einsatz von synthetischen Kraftstoffen liegen je nach technischem Verfahren, Kraftstoffart und Einsatzzweck bei bis zu über 80%, bei Wasserstoff noch bei 65 bis 70%. Nach einer Studie der Agora Verkehrswende würden auf dem Pfad mit synthetischen Kraftstoffen im Jahr 2050 bis zu 914 TWh Strom allein für den Gesamtverkehr in Deutschland benötigt werden – mehr als die rund 650 TWh deutsche Bruttostromerzeugung im Jahr 2016, und das künftig alles aus Erneuerbaren Energien!

C. Nicht besser sieht es bei den Agrarkraftstoffen aus, weil hier für solche

Treibstoffmengen und wegen der Teller-oder-Tank-Problematik einfach die Flächen fehlen. Dazu laugen Energiepflanzen wie Zuckerrohr und Mais die Böden aus. Der dann unvermeidbare Kunstdünger führt wiederum zu weiteren Treibhausgas-Emissionen. Wer noch glaubt, die benötigten Treibstoffmengen einfach aus dem Ausland importieren zu können, hat den Ernst der Klimakrise und den heraufsteigenden Rohstoffmangel in der künftigen, angespannten Welt-situation nicht verstanden.

### Alternative Antriebe

Als Möglichkeit bleibt ansonsten nur der Weg über Akku, Elektromotor und Propeller. Zwar gibt es auch andere elektrische Konzepte, aber diese werden, wenn überhaupt, erst zwischen 2050 und 2080 einsatzfähig sein.<sup>1)</sup> Der Propeller-Antrieb geht nicht nur erheblich sparsamer mit Energie um als das Düsenflugzeug, er lässt sich auch theoretisch ausschließlich mit Erneuerbaren Energien und Strom versorgen. Doch es gibt hier eine Schwachstelle: die geringe Energiedichte in den heutigen Akkus. Während fossile Treibstoffe je nach Sorte auf bis zu 11.800 Wattstunden pro Kilogramm Gewicht kommen, stecken in Lithium-Ionen- und Lithium-Polymer-Akkus nur Energiedichten von rund 200 Wh/kg. Zwar ist der Vorteil der Fossil-Flugzeuge wegen des schlechten Wirkungsgrads der Verbrennungsmotoren, die etwa nur ein Drittel der Effizienz des E-Motors erreichen, nicht ganz so groß, aber die Schwäche der Akkus ist dennoch hinderlich. Das wird besonders bei Langstreckenflügen zum Problem, wo keine Ladestationen in Reichweite sind. Zwar sind in absehbarer Zeit höhere Energiedichten zu erwarten, aber bis man auf auch für größere Flugzeuge interessante Energiedichten von über 1.000 Wh/kg kommt, wird es noch eine Weile dauern. Ob diese Akkus dann noch auf Lithium-Basis arbeiten, ist sehr fraglich. Eher dürften sich neue Batteriekonzepte durchsetzen, die heute noch im Forschungsstadium sind, oder sich langsam – wie z.B. Reddow-Flow-Akkus – einen Anteil am Speichermarkt erobern.

Ansonsten aber hat die Akku-Emotor-Propeller-Technik erhebliche Vorteile: Sie hat weniger Teile und ist daher technisch weniger anfällig sowie

einfacher zu warten als herkömmliche Propeller-Triebwerke. Sie ist effizienter, wiegt weniger als Fossil-Motoren und ist leichter zu miniaturisieren. Und so lassen sich auch eine Vielzahl von kleinen Elektromotor-Propeller-Kombinationen viel freier und je nach Designansatz als Mantelpropeller in den Flugzeugrumpf oder – oft schwenkbar – in die Flügel integrieren. Das macht das Luftfahrzeug eigensicherer gegen äußere Eingriffe wie z.B. Vogelschlag: fallen bei einem E-Flieger mit 12 Propellern zwei aus, ist das zu verschmerzen. Fällt hingegen bei einem konventionellen Flugzeug – egal ob Kolbenmotor oder Düse – in Bodennähe ein Triebwerk aus, gibt es ein ernsthaftes Problem. Auch bieten die vielen kleinen Propeller die Möglichkeit, mit ihrer Hilfe das Flugzeug zu steuern und gerade bei geringen Geschwindigkeiten oder Seitenwind nicht nur auf die Leitwerke angewiesen zu sein. Dazu kommen die geringen Lärmemissionen und die bereits erwähnte Energiesparsamkeit der Akku-Motor-Propeller-Technik; diese zeigen sich nicht nur im Flug, sondern auch beim Start: kein Aufheulen von Turbinen mehr wegen der schlechten Regelbarkeit, keine Abgasschwaden über dem Vorfeld. Der E-Antrieb ist optimal geeignet für stadtnahe Flughäfen, auch bei Nachtflugverbot. Und nicht zuletzt lässt er sich optimal mit Solarzellen auf Rumpf und Flügeln kombinieren, die schon beim Stehen auf dem schattenlosen Flugfeld, insbesondere aber auf Reiseflughöhe über den Wolken ihre Wirkung entfalten.

### Range Extender

Um die Vorteile des Konzepts zu nutzen, aber zugleich trotz der noch geringen Energiedichte der Akkus größere Reichweiten zu erzielen, arbeiten Luftfahrt-Ingenieure heute an Hybridsystemen, die als Range Extender (Reichweitenerhöher) dienen. Bei dieser Technik gibt es zwei technische Konzepte bzw. Auslegungen: im ersten Fall können sowohl Fossil-Triebwerk als auch E-Motor – getrennt oder zusammen – den Propeller antreiben. Im zweiten Fall ist das Fossil-Triebwerk nur ein Ladegerät für den Akku bzw. Stromlieferant für den E-Motor; der Antrieb des Propellers erfolgt immer über den E-Motor. Das zweite Konzept ist einfacher bezüglich Wartung und Auslegung; es dürfte sich auf Dauer durchsetzen.

Und der Einsatz von Wasserstoff als Range Extender? Dieser hat immerhin eine weit höhere Energiedichte als Akkus. Ab 1990 entwickelte Airbus mit Partnern sogar ein konventionelles Düsenflugzeug namens Cyroplane auf Basis des A310.<sup>2)</sup> Schon die ungewöhnliche Rumpfform

mit einer Art Wasserkopf zeigte die Probleme mit diesem extrem flüchtigen Gas im Langstrecken-Flieger:  $H_2$  lässt sich entweder nur in Druckbehältern mit 700 bar und mehr transportieren oder bei extrem kalten Temperaturen ( $-253^\circ C$ ). Abgesehen vom Problem der am schon Boden entstehenden Energieverluste – sowohl bei der Druck- als auch bei der Flüssigspeicherung – sind die jeweiligen Tanks auch schwer und ggf. groß. Dazu kommt, dass die kalte, dünne Luft in Jet-Reiseflughöhe (über 8.000 m) nicht optimal mit den Anforderungen der Brennstoffzelle harmoniert. Auch wenn es für diese Probleme Lösungen geben wird – ein Königsweg ist die Brennstoffzelle nicht. Und der  $H_2$ -Düsenantrieb scheidet schon wegen der Kondensstreifen, des Energieverbrauchs etc. aus.

Wie viel Ratlosigkeit bezüglich der kommenden Antriebskonzepte herrscht, zeigt der französische Flieger Eraole: er wird mit Biokraftstoff, Solarpanels auf den vier Flügeln, und mit Wasserstoff angetrieben!<sup>3)</sup>

Wie immer die Antriebsvariante aussieht, die sich künftig durchsetzt: der Luftverkehr der Zukunft wird schon wegen des Antriebs mit Propellern statt mit Düsen deutlich langsamer sein als im heutigen Jet-Zeitalter.

### Flieger-Typen

In der Luftfahrt haben sich in den vergangenen 100 Jahren je nach Aufgabenbereich verschiedene Typen von „Flugobjekten“ herausgebildet, die es klimaneutral zu elektrifizieren gilt. Diese Umstellung wir um so komplizierter, je schwerer, schneller und langstreckentauglicher der entsprechende Typ ist.

#### 1. Drohnen, Airtaxis, Hubschrauber

Diese Nicht-Starrflügler beziehen ihren Auftrieb nur durch die angetriebenen Rotorblätter. Ihr Vorteil ist die Fähigkeit, senkrecht starten und landen zu können, aber diesen Vorteil bezahlen sie mit geringerer Reichweite als konventionelle Flugzeuge. Abgesehen von den bereits im Massenmarkt angekommenen Kameradrohnen gibt es hier die ersten Personentransporter im (Test-)Einsatz wie den Ehang oder den Volocopter, die zudem durch ihre Mehrfach-Motoren und -Rotoren sicherer sind als konventionelle Hubschrauber. Die Vielzahl von Projekten in unterschiedlichen Stadien wie der Flyer von KittyHawk, der CityAirbus, das Lufttaxi der britischen Vertical Aerospace, der Nexus von Bell etc. zeigt, dass die Luftfahrtindustrie sich hier einen wachsenden Markt erhofft. Daneben finden sich auch Nischenprodukte wie eine Art fliegendes Motorrad des russischen

Waffenherstellers Kalashnikov, die für amphibische Militäroperationen eingesetzt werden könnten. Die Zahl der Sitze dieser Flugobjekte liegt zwischen 1 und 4, die Reichweite meist unter 60 km, was insofern kein Problem ist, da die meisten Flüge von Steckdose zu Steckdose gehen sollen, also z.B. als Airtaxi vom Flughafen auf das innerstädtische Hochhausdach eines Hotels. Was technisch kein Problem ist, kann dennoch scheitern: ob die Bürger in Ballungsräumen bereit sind, ständig Drohnen über ihren Balkons, Dachterrassen und Gärten schweben zu haben, wird sich noch zeigen – insbesondere, wenn die ersten der (autonom) fliegenden Personendrohnen bei Zusammenstößen vom Himmel gefallen sind. Kaum Wirklichkeit werden dürften die Tagträume der „Hamburger Hafen und Logistik AG“ (HHLA), mit Hilfe von Airbus leeren Containern das Fliegen von einem Terminal-Stellplatz zum anderen beizubringen – dafür werden beim weltweiten Elektrifizierungsbedarf einfach die Akkus fehlen.

#### 2. Kleine Wandelflugzeuge

Wandelflugzeuge wie Schwenkrotor- oder Schwenkflügel-Flugzeuge sind der Versuch, die Vorteile des Hubschraubers (senkrecht starten/landen) mit denen des Flugzeugs (höhere Reichweite) zu verbinden. Während es in der Vergangenheit bei entsprechenden Fossil-Flugzeugen immer Probleme gab<sup>4)</sup>, hat sich das durch die vielen, leichteren und zugleich drehmomentstarken E-Motoren erledigt. Und so sind neben der großen, vorerst in Afrika eingesetzten DHL-Packetdrohne und dem Flugzeug der Münchner Lilium GmbH eine Menge interessanter Projekte am Start: Vahana von Airbus, Cora von KittyHawk, der IDEP-Flieger von Verdego Aero aus Florida etc. Die Flieger sind für 1 bis 6 Personen ausgelegt und haben eine elektrische Reichweite bis 300 km.



Bild KittyHawk

Bild 2: Mit einem Propeller, Flügeln und 12 Rotoren kann die Cora senk- und waagrecht starten.

### 3. Kleine Propellerflugzeuge

Obwohl sie technisch einfacher sind als die Wandelflugzeuge, gibt es nur wenige elektrifizierte Propellerflugzeug-Typen im klassischen Stil: die Alpha Electro des slowenischen Herstellers Pipistrel, die Sun Flyer 2 der Firma Bye Aerospace aus Colorado, die französische Elektro-Cri-Cri, die E430 der Yuneec Europe GmbH, eines Tochterunternehmens des chinesischen Drohnenherstellers Yuneec, sowie der leider nicht in Serie gegangene, unkonventionellere Airbus E-Fan. Das liegt vielleicht an einer Marktsättigung dieser 1 bis 2-Sitzer, aber vielleicht auch an Umbauten von Fossil-Flugzeugen auf den elektrischen Antriebsstrang. Doch auch hier tut sich was: Anfang November vergangenen Jahres hat die Air Race E-Organisation, ein Tochterunternehmen der in Dubai beheimateten Air Race Events, einen Vertrag mit der Universität Nottingham zum Bau eines E-Rennflugzeugs unterschrieben; Air Race E will ab 2020 internationale E-Flugzeugrennen austragen. Und Ende 2018 teilte Rolls Royce mit, dass man mit der Accel in 2020 einen Geschwindigkeitsrekord überbieten wolle, den Siemens 2017 mit 338 km/h auf einer elektrifizierten Extra 330 LE erzielt hatte – die angepeilte Höchstgeschwindigkeit von über 480 km/h sollte reichen. Wer weiß, wie wichtig die Flugzeugrennen und -rekorde (Schneider-Pokal) der 1920er und 1930er für die Luftfahrtentwicklung waren, kann hier Parallelen für das elektrische Fliegen sehen. Und schon heute finden sich in diesem Segment erste Solarflugzeuge wie die Sunseeker Duo oder die Solarstratos.

### 4. Geschäftsreise-Flugzeuge

Dieses Segment zielt auf Reisestrecken bis ca. 1.200 km und 6 bis 18 Sitze. Und hier bewegen sich derzeit verschiedene Maschinen Richtung Startbahn: die hybridelektrische TailWind von Ampaire/USA, die vollelektrische Alice von Eviation/Israel, die voll- oder hybridelektrischen Flugzeuge von Samad Aerospace/Großbritannien, der hybridelektrische TriFan 600 von XTI Aircraft/USA und der hybridelektrische 12-Sitzer von Zunum Aero/USA. Verschiedene dieser Konzepte sind auf dem Weg zum Prototyp-Stadium; vor 2025 wird man wohl die ersten in der Luft sehen.

### 5. Kurzstrecken- und Regional-Flugzeuge

Hier geht es um Reichweiten unter 2.200 km und Sitzplatzzahlen für meist unter 100 Passagiere. Die dabei entstehenden Konzepte sind teilweise hybrid-elektrisch wie beim Airbus E-Fan X und dem großen Flieger von Zunum

Aero; beide dürften wohl um 2025 abheben. Nur auf Batterien setzen Wright Electric in Zusammenarbeit mit der Fluglinie EasyJet für 2030, und das CE-Liner-Konzept von Bauhaus Luftfahrt für das Jahr 2035. Immerhin hat Norwegen das Ziel, dass in 2040 alle Kurzstreckenflüge elektrisch durchgeführt werden.<sup>5)</sup>

### 6. Mittel- und Langstrecken-Flugzeuge

Heute werden die Mittelstrecken mit nonstop 2.000 bis 5.000 km und Sitzplätzen meist unter 220 überwiegend von den Airbus-Typen A 318, 319, 320 und 321 sowie von Boeing-Typen 737 und 757 bedient. Auf Langstrecken (nonstop 5.000 bis 15.000 km, 300 bis 600 Sitzplätze) sind überwiegend die Airbus-Muster A 330, 340, 350, 380 sowie die Boeings 747, 767, 777, 787 in Betrieb. In diesem Segment gibt es bisher keinerlei Erfolg versprechende Elektrifizierungs-Projekte; allenfalls die NASA hat mit der N3-X eine Art Vorkonzept erarbeitet.<sup>6)</sup> Dabei fallen hier – mit kleinen Unterschieden zwischen einzelnen Fluglinien<sup>7)</sup> – die absolut höchsten Emissionen an Treibhausgasen an, zumal hier der Großteil der Streckenkilometer geflogen wird und die Abgase wegen der Flughöhen vermehrt als Klimagase wirken. Zwar haben verschiedene Luftverkehrsunternehmen mit Agrarkraftstoffen experimentiert – so flog damit anstatt mit Kerosin am 24.02.2008 eine Boeing 747-400-Linienmaschine von London-Heathrow nach Amsterdam – aber der Treibstoffwechsel ändert nichts an den negativen Klimawirkungen in großen Höhen. Bei Passagiermaschinen auf Mittel- und Langstrecken-Flügen gibt es für die nächsten Jahrzehnte keine wirkliche Lösung.



Bild 3: Die N3-X ist fast ein Nurflügler; sie hat ihre Fans hinten auf dem platten Rumpf.

### 7. Langstrecken-Höhenflugzeuge

Im Gegensatz zum zivilen Luftverkehr ist die Energiewende bei den unbemannten Langstrecken-Höhenflugzeugen inzwischen vollzogen: fast alle dieser als

Mess-, Relais- und Überwachungsstationen in Höhen über 15 km eingesetzten Propeller-Flieger beziehen ihre Energie aus den PV-Panelen auf der Oberseite ihrer Flügel. Die Leichtgewichte sind damit deutlich klimafreundlicher als z.B. Satelliten und können bis zu einem Jahr in der Luft bleiben. Zum Einsatz kommen bisher die Solardrohnen Phasa 35 der britischen Unternehmen BAE Systems und Prismatic, die Zephyr S von Airbus oder die Odysseus von der Boeing-Tochter Aurora Flight Sciences.

### 8. Militärflugzeuge

Wenn sich auch die Antriebe der meisten militärisch genutzten Transport- und Verbindungsflugzeuge über kurz oder lang (teil-)elektrifizieren lassen, so dürfte das bei den Düsen-Kampfflugzeugen wegen des hohen Leistungsbedarfs auch auf Dauer unmöglich sein. Schon vor Jahren haben die USA entsprechende Tests durchgeführt, bei denen Kampfflugzeuge mit Agrartreibstoffen geflogen wurden. Da kaum Staaten bereit sein werden, angesichts der zunehmenden Konflikte in einer immer enger werdenden Welt auf ihre Luftwaffe zu verzichten, wird man diese Flugzeuge klimagerecht mit Agrar- oder synthetischen Kraftstoffen versorgen müssen. Das bedeutet aber auch eine Treibstoff-Konkurrenz zu den nicht elektrifizierten Bereichen der Zivilluftfahrt.

### Start und Landung

Die Flugphasen Start und Landung sind aus energetischer Sicht besonders interessant. In der Startphase wird durch Beschleunigung und Steigflug besonders viel Energie verbraucht, weshalb z.B. Regional- und Kurzstrecken-Flugzeuge pro Personenkilometer eine schlechtere Energiebilanz haben als die Mittelstrecke.<sup>8)</sup> Für Batterie-Flugzeuge mit ihrer geringen Energiedichte des „Treibstoffs“ wiegt diese Tatsache doppelt schwer. Daher ist es sinnvoll, die Energie für den Startvorgang nicht aus dem Bord-Akku zu entnehmen. Dies könnte z.B. so gelöst werden, dass man das Flugzeug zum Starten auf einen elektromagnetischen Katapult-Schlitten – eine Art „Tieflander-Transrapid“ – setzt, der mit Energie aus dem Stromnetz beschleunigt wird, und so das Flugzeug zumindest auf Abhebegeschwindigkeit bringt, wenn nicht sogar an eine niedrige Reisegeschwindigkeit heranführt. Erst danach müsste das Akku-E-Motor-Propeller-System die weitere Beschleunigung und Höhengewinnung übernehmen.

Bei der Gestaltung künftiger Landeverfahren muss darauf geachtet werden, dass die Akku-E-Motor-Propeller-Kombination ihre besonderen Stärken ausspielen

kann – die Energie-Rückgewinnung/Rekuperation. Ob das ausschließlich durch das Verstellen der Propeller-Blätter geschehen soll oder ob auch E-Motoren in den Fahrwerkkrädern dazu kommen, ob steilere Landeverfahren gewählt werden etc. müssen weitere Forschungen klären. In jedem Fall sollte es nach der Landung möglich sein, das Flugzeug schnell und unkompliziert „nachzutanken“, zumal die Flieger auf langen Strecken häufiger Zwischenstopps einlegen müssen. Ob das mit Wechselakku-Systemen oder dem Tanken von Reddox-Flow-Flüssigkeiten geschieht, kann vorerst offen bleiben.

### Oder doch Luftschiffe?

Einen internationalen Passagierverkehr in der Luft hat es schon vor der Entwicklung des Langstreckenflugzeugs gegeben: ca. 1917 bis 1937 reisten Menschen zwischen den Kontinenten im 130-km/h-Tempo mit Luftschiffen hin und her. Die Ära endete nicht, weil sich die Technik nicht bewährt hätte, sondern weil die USA dem aggressiven NS-Deutschland als der führenden Luftschiffnation den Zugang zu Helium verwehrten, in Lakehurst der mit Wasserstoff gefüllte LZ 129 „Hindenburg“ verbrannte, und der 2. Weltkrieg ein übriges tat. Zuvor waren die Luftschiffe mit ihrem Leichter-als-Luft-Auftrieb eine Erfolgsgeschichte; selbst die schwachen, wenig effizienten Motoren damals reichten für Fahrten nach Südamerika.

Heutige Luftschiffe könnten leichter gebaut werden. Sie hätten geringere seitliche Windangriffsflächen und würden im Längsschnitt eher einem Flügelprofil als einem Zeppelin ähneln, um beim Flie-

gen zusätzlichen Auftrieb zu erzeugen und eine möglichst große Oberseite für die Solarzellen zu bieten. Wasserstoff als Treibgas wäre sicherheitstechnisch kein Problem; ggf. könnten die H<sub>2</sub>-Gaszellen in einer mit Helium gefüllten Hülle aufgehängt werden. Das neue Luftschiff ist etwas schwerer als Luft, um auch leer problemlos landen zu können, und nicht auf Haltemannschaften etc. am Boden angewiesen zu sein. Das überwiegende Leergewicht des Luftschiffs inkl. der schweren Batterien wird durch das Traggas ausgeglichen; nur ein geringes Eigengewicht und die Zuladung müssen durch den dynamischen Auftrieb der Flügelform und die Kraft der Motoren „gestemmt“ werden. Es ist also letztlich eine Kombination zwischen Flugzeug und Luftschiff. Ähnliche Konzepte gibt es bereits heute ansatzweise, z.B. den „h-aero“ aus Baden-Baden. Und auch wenn die Höchstgeschwindigkeiten eher bei 200 als bei den heutigen 800 km/h der Linienflüge liegen dürften, ergäben sich für Reisen mit topographischen Hindernissen (München → Graz, Berlin → Stockholm) schon heute Zeitvorteile gegenüber anderen Verkehrsmitteln wie der Bahn oder dem Bus.

### Fazit

Die Dekarbonisierung des Luftverkehrs bleibt ein schwieriges, aber notwendiges Ziel. Mit einem einfachen Austausch der Verbrennungstriebwerke gegen E-Motoren ist es nicht getan. Ganz sicher werden die klimapolitischen Maßnahmen zu Einschränkungen führen: die Flugzeiten werden sich verdoppeln, da sich die Reisesegeschwindigkeiten von rund 800 km/h

auf rund 400 km/h halbieren werden, bei Luftschiffen sogar auf ein Viertel sinken. Außerhalb der Luftschiffahrt werden Langstrecken-Nonstop-Flüge der Vergangenheit angehören. Dafür sind viel mehr direkte Verbindungen möglich, da sich mit Schwenkpropellern, Luftschiffen etc. auch auf Plätzen außerhalb der großen, internationalen Flughäfen landen und starten lässt. Ob sich die von der Luftverkehrswirtschaft geplanten Steigerungen der Fluggastzahlen realisieren lassen, bleibt mehr als fraglich. Selbst bei einem Luftverkehr mit Hybrid-Flugzeugen lassen sich kaum genügend Bäume pflanzen, um die klimawirksamen Emissionen nachhaltig zu kompensieren. Vielleicht wird man am Ende doch zu einer Rationierung von Flugreisen kommen.<sup>9)</sup> Immerhin beträfe das nur eine Minderheit – über 80 % der Menschen auf unserem Planeten sind noch nie geflogen. Unter der vom Flugverkehr mitverursachten Klimakrise werden aber künftig alle leiden.

### Fußnoten

- 1) [news.mit.edu/2018/first-ionic-wind-plane-no-moving-parts-1121](https://news.mit.edu/2018/first-ionic-wind-plane-no-moving-parts-1121)
- 2) [www.diebrennstoffzelle.de/h2projekte/mobil/cryoplane.shtml](http://www.diebrennstoffzelle.de/h2projekte/mobil/cryoplane.shtml)
- 3) [www.latribune.fr/regions/pays-de-loire/l-eraole-decollage-d-un-avion-electrique-100-propre-785100.html](http://www.latribune.fr/regions/pays-de-loire/l-eraole-decollage-d-un-avion-electrique-100-propre-785100.html)
- 4) [de.wikipedia.org/wiki/Bell-Boeing\\_V-22#Zwischenfalle](https://de.wikipedia.org/wiki/Bell-Boeing_V-22#Zwischenfalle)
- 5) [www.theguardian.com/world/2018/jan/18/norway-aims-for-all-short-haul-flights-to-be-100-electric-by-2040](https://www.theguardian.com/world/2018/jan/18/norway-aims-for-all-short-haul-flights-to-be-100-electric-by-2040)
- 6) [www.youtube.com/watch?v=0\\_50FcUgUf8](https://www.youtube.com/watch?v=0_50FcUgUf8)
- 7) [www.atmosfair.de/wp-content/uploads/aai2017-deutschsw\\_final.pdf](https://www.atmosfair.de/wp-content/uploads/aai2017-deutschsw_final.pdf)
- 8) [www.atmosfair.de/wp-content/uploads/flug-emissionsrechner-dokumentation-berechnungsmethode.pdf](https://www.atmosfair.de/wp-content/uploads/flug-emissionsrechner-dokumentation-berechnungsmethode.pdf) S. 6
- 9) [www.klimareporter.de/verkehr/ueber-den-wolken-ist-die-freiheitwohl-grenzenlos](https://www.klimareporter.de/verkehr/ueber-den-wolken-ist-die-freiheitwohl-grenzenlos)

### ZUM AUTOR:

► Götz Warnke

Leitung des FA Nachhaltige Mobilität der DGS

[warnke@emobility-future.com](mailto:warnke@emobility-future.com)



Bild Hybrid Air Vehicles

Bild 4: Das Hybridluftschiff Airlander von unten – deutlich sind die eher breite als runde Form und die Flügel für zusätzlichen Auftrieb.