Ausgabe 2 / April – Juni 2016 / ISSN 0173-6264 B 13716 / EUR 5,– / SFR 9.–

DGLR

Luft- & Raumfahrt

Informieren • Vernetzen • Fördern

Umweltfreundlicher durch die Lüfte – **die neue A320neo**

Der Weg nach oben – **mit Ariane 6**

Synthetische Treibstoffe für nachhaltiges Fliegen

Interview mit ESA-Generaldirektor **Johann-Dietrich Wörner**

Treibstoffe für nachhaltiges Fliegen

Bild: Boeing

Wäre Deutschland für die Chinesen so populär wie Mallorca für die Deutschen, dann flögen pro Jahr etwa 70 Millionen chinesische Gäste auf deutschen Airports ein.

Der weltweite Flugverkehr ist in den letzten Jahrzehnten jährlich um fünf Prozent gewachsen. Die Luftfahrtforschung rechnet auch in Zukunft mit ähnlichen Wachstumsraten. Dieser erhöhte Luftverkehr bringt vor allem wachsende Treibhausgasemissionen mit sich. Aus diesem Grund arbeiten Wissenschaftler am Institut für Technische Thermodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) an einem synthetischen Flugbenzin aus Ökostrom. Dieses Benzin soll dabei helfen, in Zukunft eine CO_2-neutrale Luftfahrt zu ermöglichen.

Ex-Bundeskanzler Gerhard Schröder soll bei einer Chinareise einmal gesagt haben: „Ich würde mich freuen, wenn jeder Bürger der Volksrepublik China einmal unser schönes Deutschland besucht." Wäre Deutschland für die Chinesen so populär wie Mallorca für die Deutschen (jedes Jahr reisen vier Millionen Deutsche, also fünf Prozent der Bevölkerung, auf die Baleareninsel), dann flögen pro Jahr etwa 70 Millionen chinesische Gäste auf deutschen Airports ein. Hierzu müsste Deutschland seine Flughafenkapazität fast verdoppeln und die CO_2-Emissionen würden sprunghaft steigen.

Das Beispiel ist fiktiv, zeigt aber vor welchen Herausforderungen die Luftfahrt steht, wenn sich Urlauber und Geschäftsleute aus Entwicklungs- und Schwellenländern in den kommenden Jahrzehnten die deutschen Reisegewohnheiten aneignen würden. Die Belastung auf die Umwelt würde enorm steigen. CO_2-neutrale synthetische Treibstoffe könnten der Schlüssel für die sogenannte Dekarbonisierung des weltweiten Flugverkehrs sein. Dekarbonisierung heißt noch nicht, komplett emissionsfrei zu fliegen. Denn weitere Emissionen wie etwa Wasserdampf oder Rußpartikel beeinflussen ebenfalls das Klima. Doch spielt die Neutralisierung des CO_2 eine zentrale Rolle für nachhaltiges Fliegen.

In Europa und Nordamerika haben sich die verbrauchten Kerosinmengen seit 2000 wenig verändert. Der Verbrauch in den Wachstumsregionen ist dagegen stark angestiegen in China um den Faktor 3! Dabei liegt die pro-Kopf-Flugstrecke in China trotz des massiven Wachstums der letzten Jahre noch deutlich unter den Werten in der westlichen Welt.

CO_2-Reduktion im Luftverkehr

Die europäische *„High Level Group on Aviation Research"* formuliert in ihrem Flightpath 2050 das Ziel, die CO_2-Emissionen pro Passagierkilometer bis 2050 um 75 Prozent zu reduzieren. Die *International Air Transportation Association (IATA)* will den Luftverkehr von 2020 an ohne eine weitere Zunahme der Treibhausgasemissionen gewährleisten und die Emissionen bis 2050 um 50 Prozent gegenüber dem Jahr 2005 senken. Diese ehrgeizigen Ziele erheben die Frage, wie sich der CO_2-Ausstoß des Flugverkehrs wirksam begrenzen lässt, ohne das Fliegen durch Verbote einzuschränken.

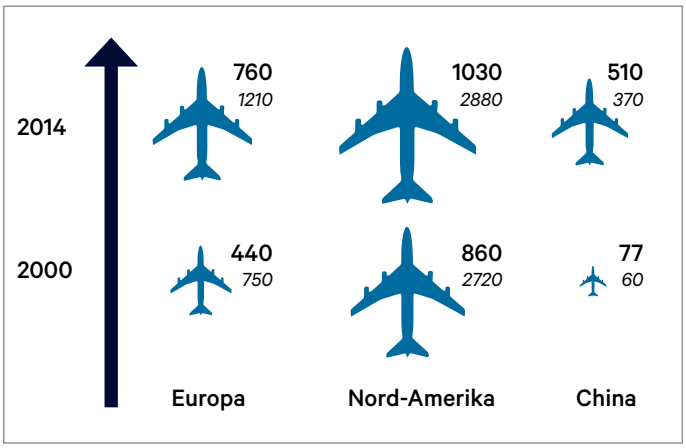
Die Begrenzung der Emissionen ist dringlich, da aus dem fünfprozentigen Luftverkehrswachstum und der erwarteten jährlichen Verbesserung der Brennstoffeffizienz um maximal 1,5 Prozent durch umweltfreundlichere Flugzeugkonzepte, eine wachsende „Kerosinlücke" entsteht: In den Jahren 2020, 2021, 2022 müssten etwa sechs, zwölf, 18 Millionen Tonnen Kerosin zusätzlich eingespart oder durch einen CO_2-neutralen Antriebsstoff ersetzt werden, um die Ziele zu erreichen.

Zwar verweisen *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* und IATA darauf, dass dies grundsätzlich mit Biokraftstoffen machbar sei. Doch die wesentlichen Fragen zu den Kosten und zum tatsächlich nutzbaren Biomassepotenzial unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien und Nutzungskonkurrenzen bleiben unbeantwortet.

Herstellung von synthetischem Flugbenzin

CO_2-neutrales Flugbenzin lässt sich grundsätzlich auf zwei Arten herstellen – entweder auf der Basis von Biomasse oder auf der Basis von CO_2-neutralem Strom. Unter letzterem versteht man elektrische Energie, deren Erzeugung die Gesamtmenge an CO_2 in der Erdatmosphäre nicht vergrößert. Doch wie funktioniert diese zweite Methode?

Synthetisches Flugbenzin kann in vier Schritten aus Wasser, Kohlendioxid und Elektroenergie hergestellt werden. Mittels CO_2-neutralem Strom aus Windenergieanlagen, Solarkraftwerken oder anderen Quellen, einschließlich Kernkraft, wird in einem Elektrolyseur Wasser in die Gase Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Wasserstoff lässt sich in Salzkavernen oder anderen Gasspeichern sammeln und dient als erster Ausgangsstoff.



Flugverkehrsleistungen innerhalb dreier Weltregionen in Mrd. Personenkilometern pro Jahr. Die kursiv gedruckten kleinen Zahlen geben die Passagierkilometer pro Jahr pro Kopf an. *Quelle: DLR, Institut für Flughafenwesen und Luftverkehr basierend auf Boeings „Current Market Outlook"*

Bild: Airbus S. A. S.

Eines der vier Triebwerke eines Airbus A380

Der zweite Ausgangsstoff ist „grünes“ CO_2. Dieses kann heute nur durch Abscheidung aus der Umgebungsluft oder aus Biomasse erzeugt werden. Heutiges CO_2 aus Kohlekraftwerken, Hochöfen und Zementfabriken ist nicht grün. In einer fiktiven Zukunftswelt ohne fossile Energieträger gibt es hingegen nur noch grünes CO_2. Das Gas ist dann kein Schadstoff mehr, sondern Wertstoff und kann ohne ökologische Bedenken am Markt eingekauft werden – ähnlich wie heute Trinkwasser für das Bierbrauen.

Aus den beiden Ausgangsstoffen Wasserstoff und Kohlendioxid wird in einem zweiten Schritt unter Wärmezufuhr ein Gemisch aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid hergestellt. Dieses wird als Synthesegas bezeichnet.

Als dritter Schritt schließt sich ein Syntheseprozess an, der nach seinen Erfindern, den beiden Chemikern Franz Fischer und Hans Tropsch benannt worden ist (Fischer-Tropsch-Synthese). Nach diesem Verfahren wurde in Deutschland schon während des zweiten Weltkrieges Benzin aus heimischer Kohle hergestellt. Das Verfahren gilt als weitgehend ausgereift und wird seit Jahrzehnten erfolgreich betrieben. Als Produkt erhält man ein synthetisches Rohöl. Dieses wird in einem vierten Schritt, in einem Raffinerieprozess, zu Benzin, Diesel und Kerosin aufbereitet. Das gesamte Verfahren nennt sich *Power to Liquid (PtL)*.

Kostenmodelle für bezahlbares Fliegen

Das Institut für Technische Thermodynamik des DLR hat dazu eine umfassende techno-ökonomische Analyse verschiedener Varianten des Herstellungsprozesses durchgeführt. Dabei wurde nicht nur der Einfluss sämtlicher Prozessparameter wie etwa Druck und Temperatur der einzelnen Schritte untersucht. Auch unterschiedliche Stromerzeugungsszenarien wurden erfasst.

Bei derzeitigen Erzeugungskosten für Offshore-Windstrom von 14 Cent pro Kilowattstunde lässt sich synthetisches Flugbenzin mit der heute verfügbaren Technologie zu einem Preis von 3,50 Euro pro Liter herstellen. Dies ist etwa das Zehnfache der Kosten von fossilem Flugbenzin – und da liegt derzeit das Problem. Wollte man den heutigen Luftverkehr auf dieses synthetische Flugbenzin umstellen und würden die Fluggesellschaften die Preiserhöhung vollständig an den Fluggast weiterreichen, so würden sich das Flugticket Frankfurt-Berlin von 100 Euro auf 150 Euro, der Urlaubstrip

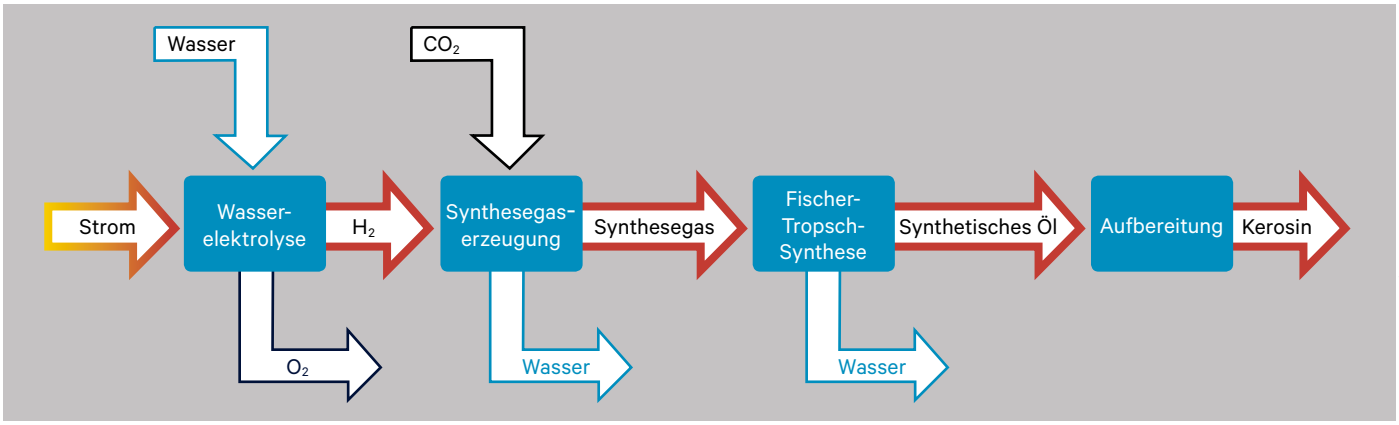


Bild: DLR-Institut für Technische Thermodynamik

Schematische Darstellung des Power-to-Liquid (PtL) Verfahrens

Bild: prescott09 / Fotolia.com

Der sehr niedrige Rohölpreis sorgt derzeit für einen niedrigen Kerosinpreis. Synthetisches Flugbezin ist dagegen noch deutlich zu teuer.

nach Mallorca von 150 Euro auf 450 Euro und das Business-Class-Ticket von München nach San Francisco von 5.000 Euro auf 7.000 Euro verteuern. Solche Preisanstiege sind auf den ersten Blick drastisch. Dies relativiert sich jedoch mit der Betrachtung zweier weiterer Zahlen.

Sollte Ökostrom eines Tages zu deutlich geringeren Kosten herstellbar sein, so würde sich der Literpreis für synthetisches Flugbenzin auf unter einen Euro verringern. Sänken nun auch die Investitionskosten für die Elektrolysetechnologie auf einen Preis von etwa dreihundert Euro pro Kilowatt, so könnte der Preis langfristig sogar auf unter 60 Cent pro Liter fallen. Diese Zahlen verdeutlichen, dass billiger Strom und preiswerte Elektrolyse die Schlüssel für die Herstellung von synthetischem Flugbenzin in großem Maßstab sind.

Falls der Rohölpreis in Zukunft wieder anzieht, wird die Preiskurve für das fossile Flugbenzin langfristig ansteigen. Die Preiskurve für erneuerbares synthetisches Flugbenzin wird hingegen langfristig sinken, weil die Elektrolyse- und die Synthesetechnologie aufgrund des technologischen Fortschritts geringere Investitionen erfordern werden. Derzeit ist es jedoch noch unmöglich zu sagen, wann das synthetische Flugbenzin günstiger wird als das fossile Kerosin.

Wege zu einem umweltfreundlicheren Flugverkehr

Das führt zu zwei möglichen Szenarien eines umweltfreundlicheren Luftverkehrs: entweder müssen die Kosten für synthetisches Flugbenzin durch Investitionen in Forschung und Entwicklung schnell sinken oder die Kosten für konventionelles Flugbenzin müssten durch regulatorische Maßnahmen schneller steigen als die Marktpreise.

Die Kostensenkungspotenziale liegen zuallererst in der Senkung des Durchschnittspreises für den Ökostrom. Dazu müssten die Baukosten für Wind- und Solaranlagen günstiger werden. Des Weiteren muss an der preiswerten Erzeugung von Elektrolysewasserstoff gearbeitet werden. Drittens kann die Technologie der Fischer-Tropsch-Synthese weiter verbessert und ihre Verknüpfung mit der Wasserstofferzeugung und der CO_2-Gewinnung optimiert werden.

Ob das konventionelle Kerosin nun teurer wird, liegt dagegen nicht in der wissenschaftlichen Forschung sondern ist von politischen Faktoren abhängig. So könnte eine weltweite CO_2-Steuer den heutigen Kostenvorteil von fossilem Flugbenzin verringern und Anreize für die Einführung von synthetischem Flugbenzin schaffen. Daraus resultierende Einnahmen könnten für weitere Technologieentwicklung sowie für zusätzliche Produktionskapazitäten von synthetischem Flugbenzin eingesetzt werden. Alternativ kommen verpflichtende Beimischquoten von synthetischem Flugbenzin in fossilem Flugbenzin oder garantierte kostendeckende Abnahmetarife in Frage. Im letzteren Fall könnten Mehrkosten als Anreiz für erste Investitionen in entsprechende Erzeugungsanlagen umgelegt werden. Derzeit ist Flugbenzin von der Mineralölsteuer befreit. Eine weltweite Abschaffung dieser Subvention würde die Kostendifferenz zwischen synthetischem und fossilem Flugbenzin verringern. Welche dieser regulatorischen Maßnahmen umgesetzt wird, ist politisch sorgfältig abzuwägen.

Vermutlich müssen letztendlich alle Ansätze kombiniert werden, damit bald alle Menschen auf der Welt preiswertes und sauberes Fliegen genießen können. Die 70 Millionen CO_2-neutral reisenden chinesischen Gäste sind dann in Deutschland umso mehr willkommen. ●

Prof. André Thess (Institutsdirektor), Dr. Ralph-Uwe Dietrich (Fachgebietsleiter Alternative Brennstoffe), Dr. Antje Wörner (Abteilungsleiterin Thermische Prozesstechnik), Daniel König (Doktorand), Dr. Thomas Pregger (Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung) – Institut für Technische Thermodynamik Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

Eine Literaturliste ist auf Anfrage bei Prof. André Thess (andre.thess@dlr.de) erhältlich.