

# Fliegen ohne Reue?

## Warum synthetische Treibstoffe aus Ökostrom die Luftfahrt nachhaltig verändern könnten.

von André Thess

1. April 2016

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<sub>2</sub>-Emissionen würden sprunghaft steigen.

Zwar ist das Beispiel fiktiv. Doch es wirft ein Schlaglicht auf die Herausforderungen, vor denen die Luftfahrt steht, wenn sich Urlauber und Geschäftsleute aus Entwicklungs- und Schwellenländern in den kommenden Jahrzehnten unsere Reisegewohnheiten aneignen. Wie lassen sich wachsende Passagierzahlen und Klimaschutz in Zukunft vereinbaren?

Ungeachtet der Mahnungen des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) wachsen die Treibhausgasemissionen des Flugverkehrs global stetig um etwa 5% pro Jahr an. Zwar sind die in den USA und Europa getankten Kerosinmengen zwischen 2000 und 2012 geringfügig gesunken. Zeitgleich sind jedoch in den Wachstumsregionen die Verbräuche stark angestiegen, beispielsweise in China um den Faktor 2! Ein Abflachen des Wachstums ist nicht in Sicht.

Die Begrenzung der Emissionen ist jedoch dringlich, da aus dem 5-prozentigen 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 6, 12, 18 Millionen Tonnen Kerosin zusätzlich eingespart oder durch einen CO<sub>2</sub>-neutralen Antriebsstoff ersetzt werden. Durch Effizienz allein werden wir den Flugverkehr also nicht dekarbonisieren. Doch wo soll das notwendige CO<sub>2</sub>-neutrale Flugbenzin herkommen?

CO<sub>2</sub>-neutrales Flugbenzin lässt sich grundsätzlich auf zwei Arten herstellen - entweder auf der Basis von Biomasse oder auf der Basis von CO<sub>2</sub>-neutralem Strom. Unter letzterem versteht man elektrische Energie, deren Erzeugung die Gesamtmenge an CO<sub>2</sub> in der Erdatmosphäre nicht vergrößert. Wodurch ist die zweite Methode gekennzeichnet?

Synthetisches Flugbenzin kann in diesem zweiten Verfahren in vier Schritten aus Wasser, Kohlendioxid und Elektroenergie hergestellt werden. Mittels CO<sub>2</sub>-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.

Der zweite Ausgangsstoff ist „grünes“ CO<sub>2</sub>. Dieses kann heute nur durch Abscheidung aus der Umgebungsluft oder aus Biomasse erzeugt werden. Heutiges CO<sub>2</sub> aus Kohlekraftwerken, Hochöfen und Zementfabriken ist nicht grün. In einer fiktiven Zukunftswelt ohne fossile Energieträger gibt es hingegen nur noch grünes CO<sub>2</sub>. 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).

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! Wollte man den heutigen Luftverkehr auf dieses synthetische Flugbenzin umstellen, so würden sich das Flugticket Frankfurt-Berlin von 100 € auf 150 €, der Urlaubstrip nach Mallorca von 150 € auf 450 € und das Business-Class-Ticket von München nach San Francisco von 5.000 € auf 7.000 € verteuern. Solche Preisanstiege sind auf den ersten Blick drastisch. Dies relativiert sich jedoch mit der Betrachtung zweier weiterer Zahlen.

Sollte Ökostrom aber 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 ansteigt, 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.

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 sind im Wesentlichen bekannt: Billiger Ökostrom und preiswerte Elektrolyse. Ob das konventionelle Kerosin hingegen teurer wird, liegt freilich nicht in der wissenschaftlichen Forschung sondern ist von politischen Faktoren abhängig.

So könnte eine weltweite CO<sub>2</sub>-Steuer den heutigen Kostenvorteil von fossilem Flugbenzin verringern und Anreize für die Einführung von synthetischem Flugbenzin schaffen. Daraus resultierende Einnahmen könnten für weitere Technologieentwicklung eingesetzt werden. Alternativ kommen verpflichtende Beimischquoten von synthetischem Flugbenzin in fossilem Flugbenzin in Frage. Derzeit ist Flugbenzin von der Mineralölsteuer befreit. Eine weltweit koordinierte allmähliche Abschaffung dieser Subvention für fossiles Flugbenzin würde nicht nur Anreize für die Herstellung von CO<sub>2</sub>-neutralem synthetischem Flugbenzin schaffen. Sie würde auch weltweit zu mehr Steuergerechtigkeit beitragen. Denn warum sollen Autofahrer und Bahnreisende Mineralölsteuer zahlen, während Fluggäste davon ausgenommen sind?

Vermutlich müssen letztendlich beide Hebel betätigt werden – Forschung für billigen Ökosprit und regulatorische Maßnahmen zur Verteuerung konventionellen Flugbenzins – damit bald alle Menschen auf der Welt preiswertes und sauberes Fliegen genießen können. Die 70 Millionen CO<sub>2</sub>-neutral reisenden chinesischen Gäste sind dann in Deutschland umso mehr willkommen.

*Der Autor: André Thess ist Professor für Energiespeicherung an der Universität Stuttgart und Direktor des Instituts für Technische Thermodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, E-Mail: [andre.thess@dlr.de](mailto:andre.thess@dlr.de)*

*Eine Langfassung des Artikels ist im April 2016 im Magazin der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR) erschienen.*