



Die HY4 ist das erste Passagierflugzeug, das mit einem Wasserstoffbrennstoffzellen-Batterie-System fliegt. Bislang haben jedoch nur vier Personen Platz.

FOTO: DLR

Fliegen ohne Reue

Wie kann der Flugverkehr CO₂-neutral werden? Selbst mit Kerosin aus Ökostrom oder Wasserstoff-Antrieben bleibt ein Klimaeffekt. Ein neuer Flugzeugtyp könnte die Lösung sein

VON RALPH DIERMANN

Mit Los Angeles und Chicago ging es los, später folgten Delhi, Seoul und weitere Fernziele – nachdem der Münchner Flughafen coronabedingt wochenlang nahezu stillstand, kommt seit Juni wieder Leben in die Hallen. Damit kehrt auch eine Debatte zurück, die in der Hochphase der Pandemie genauso ruhte wie die Luftfahrt: die Diskussion darüber, ob Flugreisen angesichts der Erderhitzung heute noch zu rechtfertigen sind.

Zwar trägt der globale Luftverkehr nur rund 2,5 Prozent zu den gesamten CO₂-Emissionen bei. In der individuellen Klimabilanz vieler Menschen sind Flüge aber der größte Posten – und damit die wichtigste Stellschraube, den eigenen ökologischen Fußabdruck zu verkleinern. Vielflieger geraten unter Rechtfertigungsdruck, Reisen zu versparen plötzlich Flugscham. Was allerdings nichts daran ändert, dass die Branche vor einem enormen Wachstum steht: Die Internationale Zivilluftfahrtorganisation der Vereinten Nationen ICAO schätzt, dass sich der globale Luftverkehr bis 2050 gegenüber heute verdrei- bis vervierfachen wird. Zwar stammt diese Prognose noch aus Vor-Corona-Zeiten. Die Pandemie dürfte diesen Trend langfristig jedoch kaum brechen. Immerhin sollen die Passagiere dann aber klimafreundlicher unterwegs sein. So will der weltweite Dachverband der Fluggesellschaften IATA den CO₂-Ausstoß des Luftverkehrs bis 2050 gegenüber 2005 halbieren. Viel zu wenig, um die Pariser Klimaziele zu erreichen. Aber genug, um die Luftfahrtindustrie vor große Herausforderungen zu stellen.

Deutlich mehr Flugverkehr, aber viel weniger Emissionen: Wie soll das gehen? Die Branche setzt unter anderem darauf, das fossile Kerosin durch synthetische, mit Wasserstoff (H₂) hergestellte Treibstoffe zu ersetzen oder aber durch Wasserstoff selbst. Flugzeuge wären damit CO₂-neutral unterwegs, sofern Wind- und Solar-

energie oder Wasserkraft die Energie liefern, um Wasserstoff herzustellen. Das geschieht in einem Elektrolyseur, der Wasser unter Strom setzt, sodass sich Wasser- und Sauerstoff voneinander trennen. Im Rahmen des Corona-Konjunkturpakets fördert die Bundesregierung den Aufbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft mit neun Milliarden Euro. Zudem will sie es zur Pflicht machen, fossilem Kerosin einen Anteil synthetischer Treibstoffe beizumischen. „Da die Eigenschaften von synthetischem Kerosin weitgehend denen von fossilem entsprechen, kommen die Flugzeuge problemlos mit dem alternativen Treibstoff zurecht“, sagt Luftthansa-Nachhaltigkeitsexperte Steffen Milchsack.

Nicht nur Kohlendioxid fördert den Treibhauseffekt – sondern auch Wasserdampf

Für Reinhard Herbener vom Umweltbundesamt (UBA) hat dieser Ansatz vor allem deshalb Charme, weil er relativ schnell umsetzbar ist. „Man muss nicht erst neue Flugzeuge entwickeln oder an den Flughäfen weltweit eine neue Infrastruktur aufbauen – nur der Treibstoff wird ausgetauscht“, erklärt er. Zudem spart man sich so ein aufwendiges, langwieriges Zulassungsverfahren, wie es für grundsätzlich andere Kraftstoffe und Antriebe nötig wäre. Die Industrie steht schon in den Startlöchern, um erste Produktionsanlagen für synthetisches Kerosin zu errichten. Die Raffinerie Heide zum Beispiel plant zusammen mit Thyssenkrupp, dem Gasnetzbetreiber OGE und weiteren Partnern in Schleswig-Holstein Öko-Spirit für die Luftthansa herzustellen. „Wir wollen etwa ab 2024 einen Teil unseres Treibstoffbedarfs am Flughafen Hamburg mit synthetischem Kerosin aus der Raffinerie Heide decken“, sagt Milchsack. Noch schneller soll es in Norwegen gehen, wo die Dresdner Firma Sunfire gemeinsam mit anderen euro-

päischen Unternehmen bis 2023 eine große Produktionsstätte für synthetische Kraftstoffe aller Art bauen will.

Um synthetisches Kerosin herzustellen, muss etwa ein Fünftel der im Wasserstoff enthaltenen Energie aufgewendet werden. Es wäre also effizienter und günstiger, H₂ direkt zu nutzen. Technisch kein großes Problem: „Es gibt bereits Gasturbinen für Flugzeuge, die sich grundsätzlich auch für Wasserstoff eignen. Nur die Brennkammern müssen neu ausgelegt werden, da Wasserstoff anders verbrennt als Kerosin“, sagt Johannes Hartmann vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Dort leitet er ein Team, das Konzepte für klimafreundliches Fliegen entwickelt. Beim Bau der nötigen Tanks für den reaktionsfreudigen Wasserstoff können Flugzeugbauer auf Erfahrungen aus der Raumfahrt zurückgreifen. Da sein Energiegehalt bezogen auf das Volumen etwa vier Mal geringer ist als der von Kerosin, müssen die Tanks jedoch größer ausfallen.

Selbst wenn grüner Wasserstoff und damit hergestelltes synthetisches Kerosin CO₂-neutral sind, bedeutet das allerdings nicht, dass sie auch klimaneutral sind. Denn bei der Verbrennung von Wasserstoff und Kerosin in den üblichen Flughöhen von 8000 bis 12000 Metern entsteht Wasserdampf. „Er sorgt zum Beispiel dafür, dass weniger Wärme von der Erde ins All abstrahlen kann, und fördert so den Treibhauseffekt“, sagt UBA-Experte Herbener. Je nach Temperatur und Feuchte der Luft können sich Kondensstreifen oder lineare Eiswolken bilden. Beim fossilen Kerosin komme noch hinzu, dass bei der Verbrennung zusätzlich auch Partikel aus sulfat- und nitrat-haltigen Aerosolen und aus Ruß entstehen, die die Wolkenbildung beeinflussen und insgesamt ebenfalls zur Aufheizung beitragen. „Alles in allem haben die Emissionen an Stickoxiden, Wasserdampf, Schwefeldioxid, Ruß und anderen Partikeln aus Flugzeugturbinen wahrscheinlich im Durchschnitt aller Flüge eine

mindestens genauso große Klimawirkung wie die CO₂-Emissionen der Flugzeuge“, erklärt Herbener.

Das DLR-Team um Johannes Hartmann arbeitet deshalb unter anderem an Technologien für ein Flugzeugkonzept, bei dem der Einsatz von Wasserstoff-Triebwerken auf den Start und die Landung beschränkt ist. Den Großteil der Flugstrecke übernehmen Brennstoffzellen. Sie erzeugen aus dem Wasserstoff Strom, der dann Elektromotoren antreibt. Ihrem Namen zum Trotz findet in den Brennstoffzellen keine Verbrennung statt, sondern eine umgekehrte Elektrolyse. Dabei entsteht Wasser, das sich jedoch, anders als in Triebwerken, aufhängen lässt, bevor es Kondensstreifen bilden kann. Zudem erreichen die Brennstoffzellen mit mehr als fünfzig Prozent einen deutlich höheren Wirkungsgrad als Triebwerke, die nur auf 35 bis 45 Prozent kommen. Sie verwerten den Wasserstoff also effizienter. Ganz lässt sich auf Triebwerke aber nicht verzichten. Zwar könnten auch Brennstoffzellen genug Energie für Start und Landung liefern. Weil dafür jedoch sehr viel Leistung nötig ist, müssten sie sehr groß ausfallen, was wiederum ihre Kühlung sehr aufwendig machen würde. Triebwerke haben dieses Problem nicht.

Ein solches Hybrid-Konzept eignet sich für Großflugzeuge der Kategorie eines Airbus A320 oder einer Boeing 737, ist Hartmann überzeugt. Sein Team peilt eine Reichweite von etwa 2000 Kilometern an, da der Großteil der Flüge zwischen 1000 und 2000 Kilometern stattfindet. Bis 2040 soll die Entwicklung des Öko-Flugzeugs abgeschlossen sein. Dabei haben die DLR-Forscher den Massenmarkt im Visier: „Bei unserer Arbeit legen wir besonders Augenmerk auf die Kosten. Klimaneutrales Fliegen darf nicht zum unbezahlbaren Luxus werden“, sagt Hartmann. „Auch meine Kinder sollen die Möglichkeit haben, ferne Länder zu besuchen.“ Das weite den Blick auf die Welt. Der Forscher ist überzeugt: „Nicht mehr zu fliegen, ist keine Option!“