

Vereinfachte Darstellung des Funktionsprinzips einer Brennstoffzelle. Wasserstoff und Sauerstoff erzeugen Strom, aber auch Wasser und Wärme



Versuchs-Brennstoffzelle: Die Detailansicht lässt erkennen, wie dicht die einzelnen Zellen aneinanderliegen

Brennstoffzellen in der Luftfahrt

O_2 und H_2 zu Strom und Wasser

Angenehme 21 Grad in zwölf Kilometer Höhe. Auf den vielen Bildschirmen laufen Blockbuster, andere Passagiere hören Musik. Ein warmes Essen wird serviert. Verkehrsflugzeuge sind komfortabel geworden. Leider muss heute noch ein beachtlicher Teil des Treibstoffs zur Erzeugung elektrischer Energie eingesetzt werden. Brennstoffzellen könnten die Lösung für den Energiehunger moderner Airliner werden.

Verkehrsflugzeuge haben viele Stromverbraucher: die Kabinenbeleuchtung, das Bordunterhaltungssystem, die Bordküche, Air Condition, Avionik und die Instrumente im Cockpit und nicht zuletzt die hydraulischen Pumpen und Stellglieder, die Ruder und Klappen bewegen und das Fahrwerk ein- und ausfahren. Einer der gierigsten Energieverbraucher an Bord ist das Vereisungsschutzsystem für Tragflächen und Leitwerk. Wenn die Vision der Konstrukteure – das reine Elektroflugzeug – eines Tages Wirk-

lichkeit geworden ist, wird diese Maschine permanent bis zu einem Megawatt elektrischen Strom benötigen.

Ersatz für Generatoren

Die Generatoren heutiger Maschinen werden mechanisch von den Triebwerken angetrieben, um Strom zu erzeugen. Wie ein Radler stärker in die Pedale treten muss, wenn der Dynamo aktiv ist, verwenden die Turbinen einen Teil der erzeugten Energie – und damit des Treibstoffs – zur Versorgung der Flugzeugsysteme mit Strom. Bei einem durchschnittlichen Langstreckenflug verbraucht ein

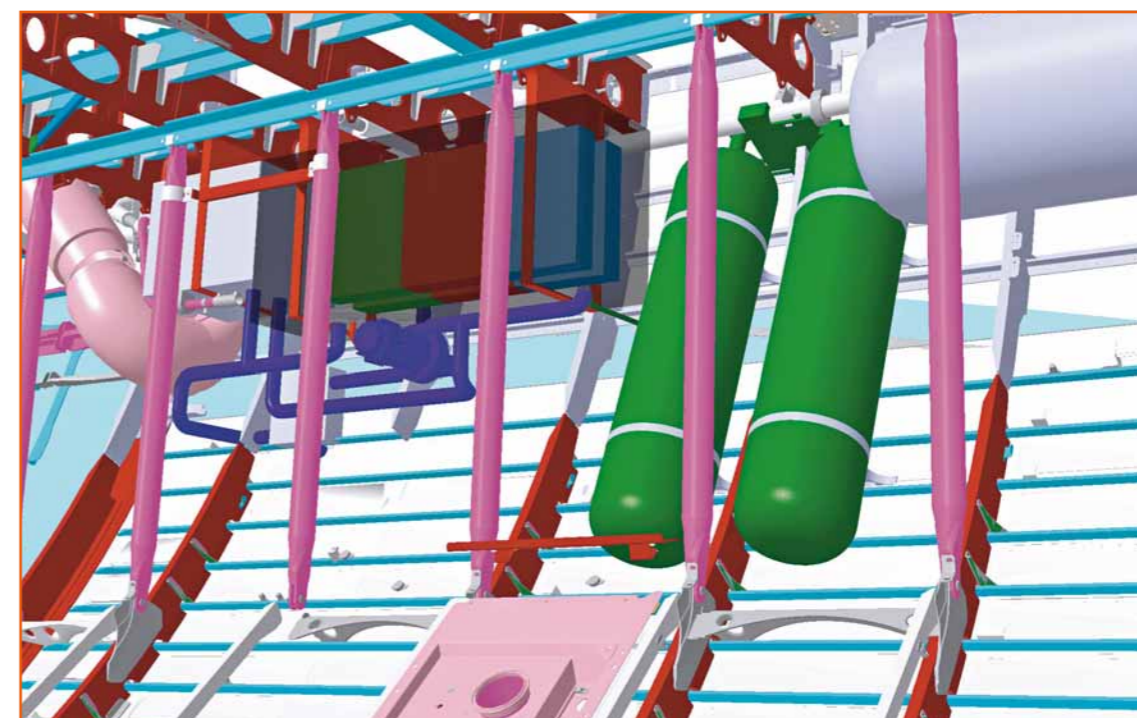
Brennstoffzelle Wie funktioniert's

Erunden und erstmals vorgeführt hat die Brennstoffzelle der Waliser Sir William Grove im Jahr 1839. Brennstoffzellen erzeugen Elektrizität durch eine einfache und geräuschlose elektrochemische Reaktion, bei der sich Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser verbinden.

Es gibt verschiedene Arten von Brennstoffzellen, die sich chemisch voneinander unterscheiden, der Aufbau jedoch ist immer der gleiche und umfasst zwei Elektroden – die negative Anode und die positive Kathode. Dazwischen befindet sich ein fester oder flüssiger Elektrolyt, der elektrisch geladene Teilchen von einer Elektrode zur anderen transportiert. Wegen der unterschiedlichen Ladungen ziehen sich die Sauerstoff- und Wasserstoffmoleküle an, wobei der kürzeste Weg direkt durch die Membran führt. Die Membran ist aber nur für Protonen durchlässig, so dass sich die negativ geladenen Elektronen des Wasserstoffs an der Anode sammeln. Auf der Seite des Sauerstoffs (Kathode) bildet sich eine positive Ladung.

Häufig kommt ein Katalysator, wie beispielsweise Platin, zum Einsatz, um die Reaktionen an den Elektroden zu beschleunigen. Brennstoffzellen werden nach der Beschaffenheit des Elektrolyts klassifiziert. Die verschiedenen Typen benötigen jeweils besondere Materialien und Brennstoffe und eignen sich jeweils für unterschiedliche Anwendungen. Um die gewünschte Leistung zu erhalten, werden mehrere Zellen zu einem Brennstoffzellen-Block zusammengefügt.

rk



Anordnungsskizze eines auf Brennstoffzellen basierenden Notstromaggregats, wie es im Laderaum von Flugzeugen installiert werden könnte. Das Brennstoffzellen-Modul ist in der Mitte als dreifarbig Block dargestellt. Grün: die Sauerstoffbehälter. Rechts oben: der Wassertank. Blau: Kühlpumpe und Leitungen. Die Wasserstoff-Flaschen werden separat hinter der nicht unter Druck stehenden unteren Rumpfschalen-Verkleidung eingebaut (nicht abgebildet)

Forschung Partielle Dehydratation

Die Umsetzung eines einsatzfähigen Kerosin-Reformer-Systems an Bord von Flugzeugen wird der entscheidende Faktor für den Erfolg des gesamten Brennstoffzellen-Systems sein. Der chemische Prozess der „partiellen Dehydratation“ erscheint als eine praktikable Alternative zu bestehenden Reformierungsmethoden, da hierzu lediglich Kerosin und ein bei relativ niedrigen Temperaturen und niedrigem Druck reaktionsfähiger Katalysator benötigt werden.

Es sind nur zwei Prozessschritte erforderlich: die Extraktion des Wasserstoffs aus dem Jet-Treibstoff Kerosin und die anschließende Abspaltung des Wasserstoffs. Es bestehen gute Aussichten, handelsübliche Katalysatoren wie Palladium oder Platin für dieses Verfahren zu verwenden sowie die Entschwefelung vor beziehungsweise das Reinigen

des Wasserstoffs nach Ablauf des Prozesses vermeiden zu können. Der gasförmige Wasserstoff wird der Brennstoffzelle zugeführt, die flüssigen Kohlenwasserstoff-Reste lassen sich direkt für die Verbrennung verwenden oder in den Kerosintank zurückerleiten.

Die partielle Dehydratation ist in der chemischen Industrie ein wohlbekanntes Verfahren, wurde aber noch nie mit Kerosin durchgeführt. Deshalb müssen zuerst intensive chemische Labortests vorgenommen werden, um den Prozess restlos zu begreifen und eine Datenbank mit allen relevanten Parametern erstellen zu können. Das gegenwärtige Arbeitsspektrum umfasst auch die Erarbeitung von Konzepten für das Gesamtsystem und die Untersuchung von Gesichtspunkten seiner Integration in Flugzeuge, wie etwa der Schnittstelle zum Tanksystem, der

Wärmequelle für die Reaktion, des Zu- und Abfuhrverhaltens sowie der Anforderungen an die verwendeten Werkstoffe.

Parallel zur Forschung in Sachen partielle Dehydratation unterstützen die Brennstoffzellen-Spezialisten vom CRC (Corporate Research Center des EADS-Konzerns) die Tochter Airbus auch in den Bereichen Systemsimulation, Systemauslegung, Entwicklung und Erprobung.

Als Mitglied der Gruppe „Verkehr“ vertritt das CRC die Luftfahrtbranche im Rahmen der „European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform“, einer von der Europäischen Kommission geförderten Einrichtung, deren Ziel es ist, die Entwicklung und Umsetzung dieser Schlüsseltechnologien in der Europäischen Union zu beschleunigen. rk

Airbus A330 rund 5000 Liter Kerosin, nur um daraus Strom, Druckluft und hydraulische Energie zu erzeugen.

► Strom aus Chemie

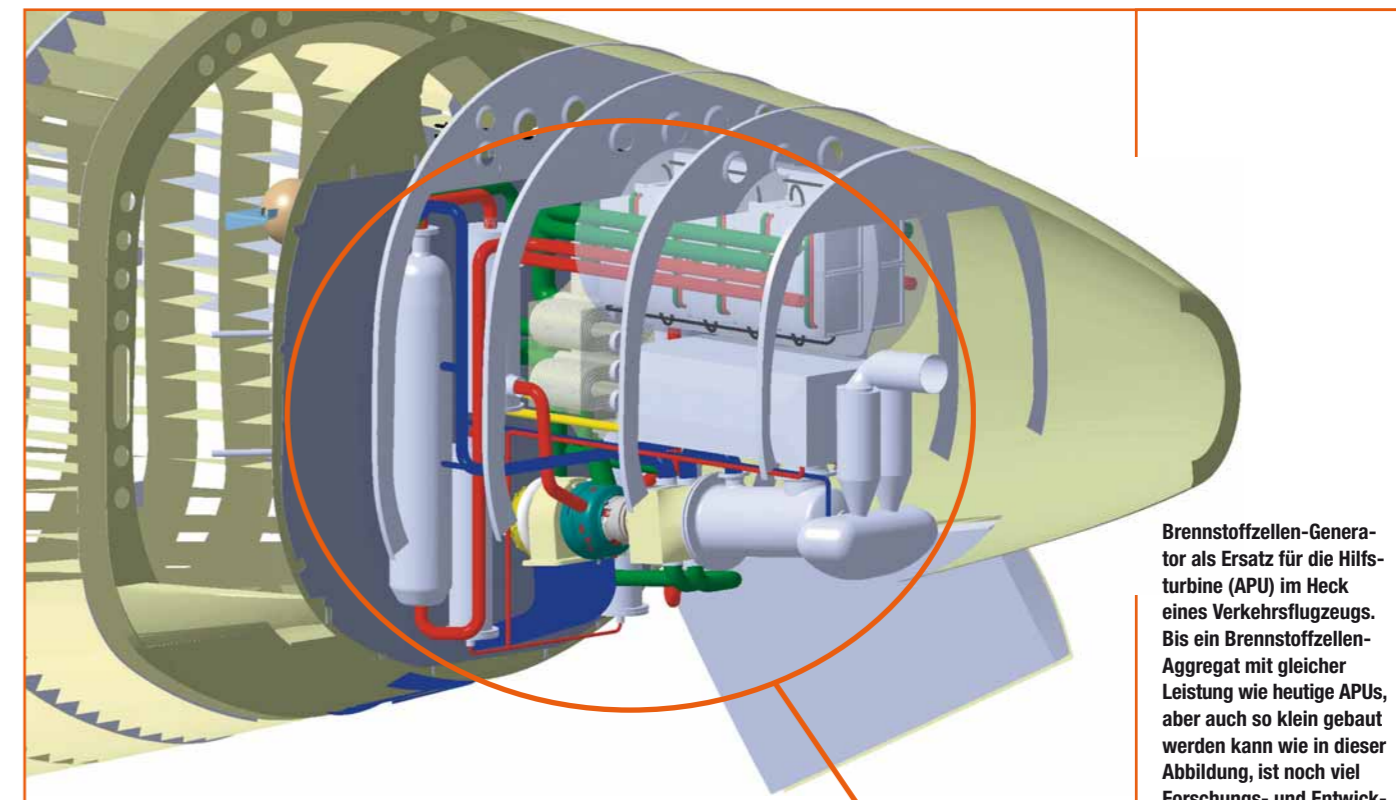
Steigende Kraftstoffpreise, knapper werdende Ressourcen und die Sorge um die Umwelt bewegen Forscher und Ingenieure von Airbus und EADS heute zur Entwicklung einer alternativen Energiequelle für die Bordelektrik: Brennstoffzellen-Systeme. Deren hohe Effizienz bei der Umwandlung von Treibstoff in elektrischen Strom birgt das Potenzial, den Spritverbrauch erheblich zu senken. Ein Stromversorgungssystem auf Brennstoffzellen-Basis, das nicht nur die heute üblichen Hilfsaggregate ersetzen, sondern am Boden wie im Flug kontinuierlich Elektrizität erzeugen würde, könnte den Fluggesellschaften jährlich Einsparungen in Millionenhöhe bringen und darüber hinaus sowohl die Geräuschemissionen als auch den Schadstoffausstoß der Flugzeuge senken. Allerdings müssen noch zahlreiche technische und operationelle Fragen geklärt werden, bevor Brennstoffzellen-Systeme in Verkehrsflugzeugen zum Einsatz kommen können.

Eine Brennstoffzelle („fuel cell“) ist eine Art Mini-Kraftwerk, das in einem elektrochemischen Vorgang Gleichstrom erzeugt – und Wasser als „Abfallprodukt“ (siehe Kasten Seite 75). Wie bei einer Batterie wird in einer Brennstoffzelle chemische Energie in elektrischen Strom umgewandelt – mit dem Unterschied, dass die Brennstoffzelle niemals aufgeladen werden muss und so lange läuft, wie ihr Brennstoff zugeführt wird.

Der grundlegende elektrochemische Vorgang in einer Brennstoffzelle mag relativ einfach sein, die Umsetzung ihrer praktischen Anwendungen jedoch stellte viele Jahre ein



Unter kontrollierten Laborbedingungen untersuchen Airbus-Spezialisten auf Prüfständen die Betriebsparameter von Brennstoffzellen



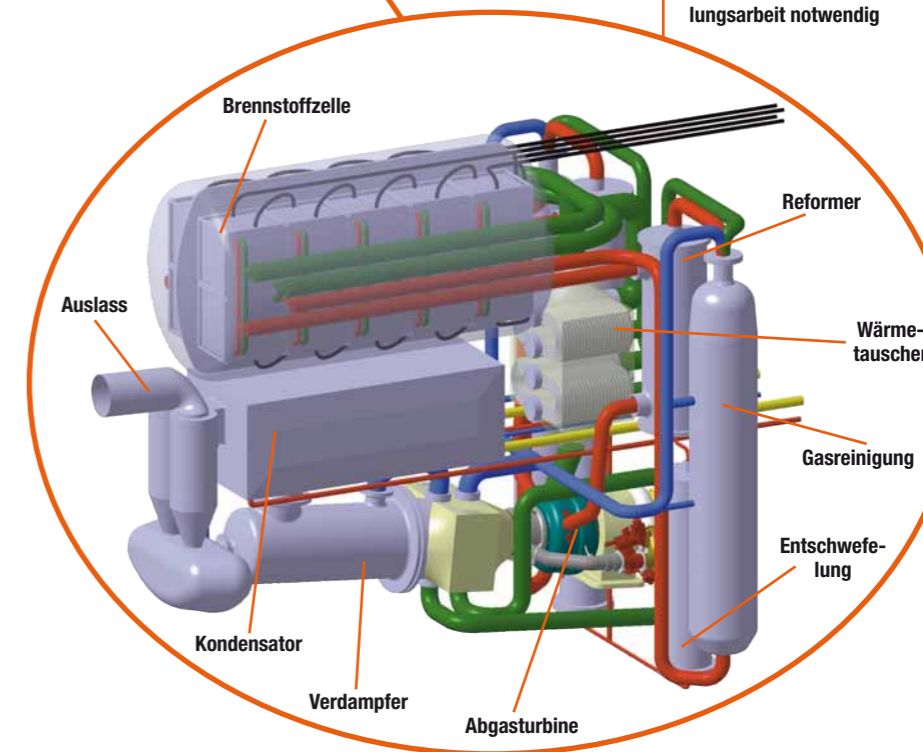
Brennstoffzellen-Generator als Ersatz für die Hilfursturbine (APU) im Heck eines Verkehrsflugzeugs. Bis ein Brennstoffzellen-Aggregat mit gleicher Leistung wie heutige APUs, aber auch so klein gebaut werden kann wie in dieser Abbildung, ist noch viel Forschungs- und Entwicklungsarbeit notwendig

unüberwindliches Problem dar. Für große Entwicklungsschübe in der Brennstoffzellen-Technik sorgte die NASA durch zahlreiche Forschungsprogramme für ihre Raumfahrtprogramme Apollo und Space Shuttle (siehe Kasten Seite 78). In jüngerer Vergangenheit trieb auch die Automobilbranche die Entwicklung voran, um Brennstoffzellen als Antrieb für Autos, Lastwagen und Busse einsetzen zu können.

► Das ideale Hilfskraftwerk

Gemeinsam ist den Anwendungen in Raumfahrt und Kraftfahrzeugindustrie, dass die dort genutzten Brennstoffzellen mit reinem Wasserstoff laufen, den sie aus Tanks in den Fahrzeugen beziehen. Für den Dauerbetrieb in Linienflugzeugen kommt dieses Verfahren allerdings nicht in Frage. Zwar wurde in Flugversuchen nachgewiesen, dass Düsentriebwerke sehr wohl auch mit Wasserstoff betrieben werden können, doch wird es in absehbarer Zukunft keine entsprechende Versorgungsinfrastruktur geben. Außerdem erscheint es angesichts des erheblichen Raum-inhalts, den ein Wasserstofftank an Bord eines Flugzeugs beanspruchen würde, höchst unwahrscheinlich, dass Wasserstoff jemals die Haupttriebwerke von Verkehrsflugzeugen speisen könnte.

Stattdessen planen die Forscher, den im Jet-Treibstoff Kerosin enthaltenen Wasserstoff zur Energiegewinnung durch Brenn-



stoffzellen zu nutzen. Hierzu müsste der Wasserstoff erst aus dem Kerosin extrahiert werden, und zwar entweder mittels eines so genannten „Reformers“ – oder durch die „partielle Dehydratation“ (siehe Kasten Seite 76). Wenn gleich stationäre Brennstoffzellen-Kraftwerke mit Reformer-Technologie heute bereits gewerblich genutzt werden, eignen sie sich wegen der hohen Kosten, der sperrigen Aus-

maße und ihrer großen Masse nicht zum Einbau in Flugzeuge.

Bevor die Fuel Cell-Technologie in Verkehrsflugzeugen zum Einsatz kommen kann, müssen Brennstoffzellen-Hersteller und Flugzeugbauer deshalb noch einiges an Entwicklungsarbeit leisten. Bei Airbus erfinden die Forscher das „Rad“ Brennstoffzelle aber nicht gänzlich neu und versuchen sich auch

nicht an der Steigerung ihrer gewichts- oder volumenbezogenen Leistung, sondern tun sich mit spezialisierten Unternehmen zusammen, um die Vielzahl von Problemen im Zusammenhang mit der Integration von Brennstoffzellen-Technik in Flugzeuge zu überwinden. Schließlich müssen strengste Anforderungen an Leichtbauweise, Kompaktheit, Flugsicherheit und Betriebsstabilität erfüllt werden. Und auch die spezifischen Betriebsbedingungen von Flugzeugen, etwa hinsichtlich der frostigen Temperaturen in großer Flughöhe oder der Erschütterungen und Schwingungen bei Start und Landung, stellen die Experten der Integration von Brennstoffzellen-Systemen bei Airbus in Hamburg vor gewaltige Herausforderungen.

► Schrittweise Leistungssteigerung

Anstatt auf Antriebsleistungen im Megawatt-Bereich erzielen zu wollen, arbeiten sich diese Spezialisten von kleineren Antriebssystemen schrittweise zu größeren vor. Die Airbus-Ingenieure werden zunächst einen Brennstoffzellen-Demonstrator testen, der nicht die Elektrik des Flugzeugs versorgt, sondern zur Gewinnung von Daten zum Systembetrieb im Flug genutzt wird. Als nächstes Ziel soll dann die Stauluftturbine („Ram Air

Zuverlässiger als eine Ram Air Turbine

Turbine“) der Maschine durch eine Brennstoffzelle ersetzt werden. Dieses Notsystem mit kleinem Propeller und angeschlossenem Generator wird vom Fahrtwind in Rotation versetzt und liefert nach dem – äußerst unwahrscheinlichen – Ausfall sämtlicher Elektrizitätsquellen des Flugzeugs in der Luft als Notstromaggregat elektrische Energie. Auch wenn die Stauluftturbine so gut wie nie gebraucht wird, ist ihre Wartung sehr kostspielig. Ein kleines Brennstoffzellen-System, das mit flüssigem Wasserstoff und Sauerstoff läuft und bei Bedarf eine Stunde lang rund 20 Kilowatt Leistung bringt, wäre nicht nur kostengünstiger, sondern auch wesentlich zuverlässiger als das herkömmliche mechanische System. Überdies wäre diese Anwendung ein idealer Einstiegspunkt in die praktische Erprobung von Brennstoffzellen an Bord von Airlinern.

Die Marktreife von Brennstoffzellen-Systemen auf Kerosin-Basis mit zirka 400 Kilowatt Leistung als Ersatz für die heutigen Hilfstriebwerke wird in etwa zehn Jahren erwartet. Eine zentrale Herausforderung wird dabei die Wasserstoffgewinnung aus dem Flugzeugtreibstoff sein. Hierzu sind nämlich die Abspaltung des im Kerosin enthaltenen Schwefels, das Reformieren und je nach Brennstoffzellen-Typ auch die Säuberung des so erhaltenen wasserstoffreichen Gases erforderlich, da Verunreinigungen bestimmter Elemente der Brennstoffzelle ihren Leistungs-

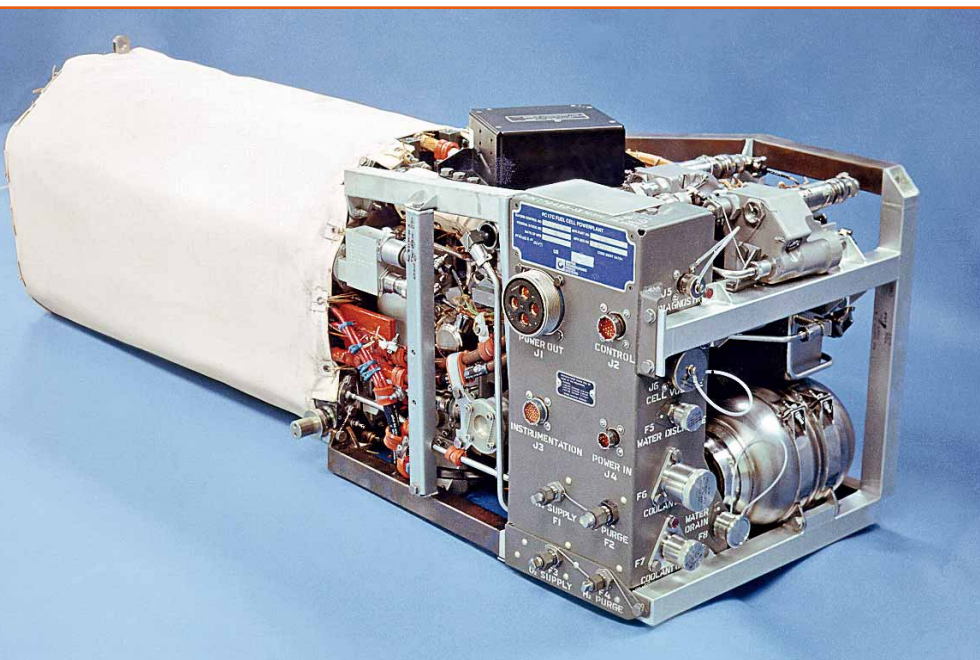
Brennstoffzellen in der Raumfahrt

In den späten 50er Jahren herrschte bei der NASA Bedarf an einem kompakten System zur Erzeugung elektrischer Energie bei Weltraummissionen. Kernkraft galt als zu riskant, Batterien waren zu schwer, Sonnenkollektoren zu sperrig.

Brennstoffzellen waren die Lösung. Also finanzierte die NASA zweihundert Forschungsvorhaben zur Fortentwicklung dieser Technik, und seit den 60er Jahren werden Fuel Cells in NASA-Raumfahrzeugen als Stromlieferanten eingesetzt – erstmals 1965 bei der Mission Gemini V. Bei allen bemannten Apollo-Missionen produzierten Brennstoffzellen Strom und Wasser. Die Pratt & Whitney-Fuel Cells an Bord der Apollo-Raumfahrzeuge produzierten bis zu 2,2 Kilowatt an Strom. Die heutigen Space Shuttle führen jeweils drei (vom US-Hersteller UTC Power produzierte) Brennstoffzellen von je 120 Kilogramm Masse mit.

Diese sind unterhalb der Nutzlast-Bucht im vorderen Bereich der Rumpfmitte untergebracht und verbrennen kryogenen Wasserstoff und Sauerstoff. Gemeinsam erzeugen sie eine Dauerleistung von maximal 21 Kilowatt, können aber vorübergehend – jeweils 15 Minuten lang – Spitzenleistungen von bis zu 36 Kilowatt erreichen. Das entstandene Wasser wird von den Astronauten teilweise als Trinkwasser genutzt.

rk



Images: EADS

Eine der von UTC Power hergestellten Brennstoffzellen des Space Shuttles bestehend aus der Stromerzeugung und einem Zusatzsystem zur Steuerung und Überwachung. Die Stromerzeugung, bei der Wasserstoff und Sauerstoff in elektrischen Strom, Wasser und Wärme umgewandelt werden, besteht aus 96 Zellen, die im Verbund eine Spannung von 28 Volt erzeugen

grad in unannehmbarem Maße herabsetzen würde. Außerdem muss ein solches System kompakt, leicht und effizient sein und nur wenig oder am besten gar keinen Wartungsaufwand erfordern.

Im Auftrag von Airbus erforscht das EADS Corporate Research Centre zurzeit die Umwandlung von Treibstoffen durch Dehydratation – eine viel versprechende Technologie zur Erzeugung reinen Wasserstoffs durch ein weniger komplexes, sperriges und gewichtiges System (siehe Kasten).

Die Ingenieure bei Airbus erwarten von der Stromerzeugung per Brennstoffzelle ein willkommene Nebenprodukt: Wasser, das bei diesem Prozess als „Abfall“ entsteht und für die Toilettenspülungen verwendet oder sogar als Trinkwasser gereicht werden könnte – natürlich erst nach gründlicher Reinigung und Anreicherung mit Mineralien. Schließlich machen das die Raumfahrer seit Jahrzehnten vor. Im Idealfall müsste überhaupt kein Wasser mehr an Bord mitgenommen werden. Ein Airbus A380 wäre so beim Start gleich um einige Tonnen leichter. Der Vorteil dieser „Schlankheitskur“ wäre eine größere Reichweite des Flugzeugs – oder aber eine erhöhte Nutzlast.

Richard Kleebaur