

Interview zur Kurzstudie

"Innovative Antriebe und Kraftstoffe für einen klimaverträglicheren Luftverkehr"

Angaben zu den Personen

Name des Experten / Institution:	Prof. Dr. Dieter Scholz Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW Hamburg)
Datum, Zeit des Interviews:	22.03.2023, 14:00 - 15:30 Uhr
Interviewer-/in:	Tobias Jetzke
Autor der Endfassung	Dieter Scholz

Hintergrund

Im Auftrag des **Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung (ABFTA)**¹ führt das **Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB)**² eine Kurzstudie zum Thema „Innovative Antriebe und Kraftstoffe für einen klimaverträglicheren Luftverkehr“ durch.

Ziel der **Kurzstudie** ist es, einen Überblick über den Forschungs- und Implementierungsstand zu nachhaltigen Kraftstoffen sowie neuartigen Antriebskonzepten zu geben und die Beiträge dieser beiden Innovationsbereiche zu einer klimafreundlicheren Luftfahrt darzustellen.

Wir, die **VDI/VDE-IT**, sind **Konsortialpartner des TAB** und führen für diese Kurzstudie aktuell Experteninterviews durch. Unser Anliegen ist es, die wesentlichen Kernaspekte im Bereich des klimaverträglicheren Luftverkehrs zu identifizieren, um diese in einer Kurzstudie angemessen aufzubereiten.

Gibt es von Ihrer Seite eventuell noch Fragen, die Sie vorab stellen möchten?

Einstieg

- Was sind die relevantesten (z. B. im Hinblick auf Ressourceneffizienz, Wirkung, Einsatzmöglichkeiten) aktuell verfügbaren und aufkommenden Innovationen in den beiden Bereichen Kraftstoffe und Antriebskonzepte für einen klimafreundlicheren Luftverkehr und wodurch zeichnen sie sich aus?

Zunächst sollte beachtet werden, dass nicht eine Lösung allein einen maßgeblichen Beitrag für einen klimafreundlicheren Luftverkehr leisten wird. Vielmehr gibt es viele Möglichkeiten mit wechselseitigen **Abhängigkeiten zwischen dem Kraftstoff und dem Antriebskonzept**, die bei der Betrachtung der Innovation berücksichtigt werden müssen. Erneuerbare Energien (Wind, Sonne, Wasser) liegen als Elektrizität vor.

¹ https://www.bundestag.de/ausschuesse/a18_bildung_forschung

² <https://www.tab-beim-bundestag.de>

Interview zur Kurzstudie "Innovative Antriebe und Kraftstoffe für einen klimaverträglicheren Luftverkehr"

Ein naheliegender Gedanke könnte dann lauten: die Energie in **Batterien** zu speichern und auf die Entwicklung batteriebetriebener Flugzeuge zu setzen. Batteriebetriebene Flugzeuge sind jedoch nicht so einfach umzusetzen, wie batteriebetriebene Autos, da der benötigte Auftrieb eines Flugzeugs zum tragen der schweren Batterien Widerstand erzeugt. Wenn aus der Elektrizität grüner Wasserstoff erzeugt wird, dann haben wir es mit einem verlustreichen Elektrolyseverfahren zu tun. Ob Batterien zum Einsatz kommen können ist nicht eine Frage der Größe des Flugzeugs, sondern der Reichweite. Überwiegend werden große Flugzeuge auf Langstrecken genutzt; kleine Flugzeuge auf Kurzstrecken - aber nicht nur. Auf Langstrecken sind rund 40% der Masse der Kraftstoff, nur 10% ist Nutzlast und der Rest sind Struktur, Triebwerke und Systeme des Flugzeuges. Der Versuch Batterien auf Langstrecke zu nutzen scheitert, weil die Entwurfsaufgabe dann keine Lösung hat. Das Problem lässt sich auch nicht mit ein paar Prozent Verbesserungen bei den Batterien lösen. Auch **hybride Systeme**, die zur Hälfte Kerosin und zur Hälfte Batterien nutzen, werden tendenziell schwerer. Daher dürfte es für batteriebetriebene (Klein-) Flugzeugen vor allem um Nischenmärkte auf extremen Kurzstrecken gehen (sog. Inselfliegerei, bspw. Schottland, Norwegen oder Indonesien).

Neben batteriebetriebenen Flugzeugen kommen auch **Sustainable Aviation Fuel, SAF** (als Drop-in-Kraftstoffe) und Wasserstoff in Frage – jeweils allerdings abhängig von der Reichweite. In Deutschland werden vor allem e-Fuels als Lösungsansatz favorisiert, EU-weit ist dies nicht ganz so eindeutig. Bei den Beimischquoten sind allerdings auch Unterquoten für e-Fuels definiert worden. Bei der Erzeugung von e-Fuels werden synthetische Kraftstoffe mit Hilfe von Strom erzeugt (die Umweltwirkung ist hier auch abhängig vom Energiemix bei der Stromerzeugung). Allerdings ist diese Umwandlung von Strom in Kraftstoff verlustreich, zudem ist Wasserstoff ein Vorprodukt. Sinnvoller wäre es, diesen Wasserstoff direkt zu nutzen.

Die Nutzung von grünem **Wasserstoff** geht zurück auf langjährige Forschungsarbeiten, die bereits in der ehemaligen Sowjetunion (Tu-155) und auf EU-Ebene (Cryoplane) um die Jahrtausendwende durchgeführt wurden. Wasserstoff wurde später auch für Frachtflugzeuge angedacht (Green Freighter). Da Frachtflugzeuge aber in der Regel umgebaute Passagiermaschinen sind, wird aktuell der Ansatz verfolgt den Einstieg in das Fliegen mit Wasserstoff über Passagierflugzeug zu machen. Wasserstoff ist anders als Kerosin leichter, was beispielsweise im Brandfall die Sicherheit erhöhen könnte, weil er nach oben hin abbrennt und nicht auf dem Boden. Aber mit der Verwendung von Wasserstoff sind Herausforderungen verbunden, die im Flugzeugentwurf zu berücksichtigen sind: Tanks können - anders als bei Kerosin - nicht in den Tragflächen integriert werden, sondern können entweder Teil des Druckrumpfs sein (beispielsweise hinter dem Cockpit und im Heck, um den Schwerpunkt optimal zu platzieren) oder aber davon getrennt unter den Tragflächen oder außerhalb des Druckrumpfs angebracht werden. Wenn der Tank im Rumpf ist, muss dieser verlängert werden. Dadurch erhöht sich die Masse des Flugzeuges und es vergrößert sich die umströmte Oberfläche, was den Widerstand erhöht. Bei der Anordnung der Tanks im Rumpf hat sich noch keine optimale Lösung herauskristallisiert.

Weiterhin ist für die Diskussion wichtig, nicht nur den Effekt auf CO₂ zu betrachten, sondern auch die **Nicht-CO₂-Effekte** zu berücksichtigen, die durch den Luftverkehr entstehen. Je nach Berechnungsmethode können diese rund 2/3 ausmachen. Nicht-CO₂-Effekte werden im Wesentlichen durch Kondensstreifen und Kondensstreifen-Zirren sowie Stickoxiden hervorgerufen und führen wie CO₂ zur Erderwärmung. Wasserstoffflugzeuge haben auch Nicht-CO₂-Effekte.

**Interview zur Kurzstudie
"Innovative Antriebe und Kraftstoffe für einen klimaverträglicheren Luftverkehr"**

Innovationsstandort Deutschland

1. Wer sind die wichtigsten Akteure bzw. Akteursgruppen im Bereich nachhaltige Luftfahrt? Wie lässt sich das sogenannte Innovationssystem charakterisieren?
(gerne konkrete Beispiele nennen für Akteursgruppen: Wirtschaft (Unternehmen, Start-ups, Hidden Champions), KMUs vs. Großunternehmen, Wissenschaft (Unis, FHs...), Verbände, Gesellschaft, Politik...)

Die Frage kann man auf zwei Ebenen adressieren. Auf der übergeordneten Ebene steht **der Aspekt des weltweiten Beitrags zur Bekämpfung des Klimawandels** im Vordergrund. Global betrachtet teilen sich Airbus und Boeing als Flugzeughersteller den weltweiten Markt überwiegend auf, sie bilden quasi ein Duopol, sodass andere Hersteller eher von geringerer Relevanz sein werden. Während Boeing strategisch eher SAF sowie Optimierung der Aerodynamik in Betracht zieht, setzt Airbus vor allem auf Wasserstoffflugzeuge – dabei allerdings nicht auf Langstreckenflugzeuge, sondern auf Maschinen, die auf Kurz- und Mittelstrecken eingesetzt werden. Nun werden bei dieser Reichweite zwar kürzere Strecken zurückgelegt, jedoch auch mehr Flugzeuge eingesetzt. Hinsichtlich der Klimawirkung wird etwa gleich viel Kraftstoff auf der Langstrecke (weniger Flugzeuge auf längeren Strecken) wie auf den Kurz- und Mittelstrecken benötigt. Airbus als europäischer Hersteller könnte mit 50% Marktanteil und dem Fokus auf Kurz- und Mittelstrecken (50% der Klimawirkung) also etwa ein Viertel des Beitrags zum klimafreundlicheren Luftverkehr beitragen. Jedoch müssen die Flugzeuge erst entwickelt werden und in Serie gehen (nicht vor 2040) und dann die alten Flugzeuge schrittweise ersetzen, was noch einmal 30 Jahre dauert. Airbus hätte dann im Jahr 2070 bestenfalls dazu beigetragen, dass 1/4 der Weltflotte Wasserstoffflugzeuge sind. Durch die Einsparung von CO₂ hätte man 1/3 durch grünen Wasserstoff in der Luftfahrt eingespart, also $1/3 \cdot 1/4 = 1/12$, was aber durch das Luftverkehrswachstum schon vorab zunichte gemacht wäre.

Auf nachgelagerter Ebene geht es um die Frage, den **Industriestandort Deutschland** und die hier angesiedelten Arbeitsplätze zu bewahren. Die Wertschöpfung in der Flugzeugindustrie teilt sich etwa zu gleichen Teilen auf die Systeme, die Triebwerke und die Zelle auf. Ein wichtiger deutscher Systemlieferant, insbesondere für Flugsteuerungssysteme, Klimaanlage etc., ist das Unternehmen Liebherr-Aerospace. Unklar ist gegenwärtig, welchen Beitrag zur Klimafreundlichkeit vor allem Systemlieferanten leisten können. Die Förderung von deutschen Unternehmen, bspw. der Deutsche Regional Aircraft GmbH, ist in dem Zuge erwähnenswert, wenngleich bislang noch nicht absehbar ist, ob vor allem Know-How erzeugt wird, oder ob auch eine nennenswerte Produktion von Wasserstoffflugzeugen entstehen kann.

2. Wo sehen Sie Besonderheiten, Stärken und Schwächen der deutschen Luftfahrtindustrie?

Nicht besprochen.

3. Wie ist Deutschland im internationalen Vergleich aufgestellt?

Nicht besprochen.

4. Wie schätzen Sie die Innovationsfähigkeit des Standortes Deutschlands im Bereich nachhaltige Luftfahrt ein?

Nicht besprochen.

**Interview zur Kurzstudie
"Innovative Antriebe und Kraftstoffe für einen klimaverträglicheren Luftverkehr"**

5. Wie bewerten Sie die Möglichkeit für Finanzierungen und Zugang zu Fördermitteln für Vorhaben im Bereich nachhaltige Luftfahrt?

Das [LuFo Klima](#) ist in dem Zusammenhang erwähnenswert. Wenngleich es durch den Zusatz "Klima" einen vermeintlich passenden Rahmen enthält, sind die wesentlichen Inhalte und Instrumente weitgehend von der vorherigen Regierung übernommen, sodass das Risiko besteht, dass existierende Strukturen weiter zementiert werden und Barrieren für neue Akteure entstehen.

6. Inwieweit sind vor dem Hintergrund der Entwicklungen in Richtung nachhaltige Luftfahrt Anpassungen an Curricula vorzunehmen oder neue Ausbildungsgänge zu schaffen?

An den Hochschulen besteht die **einfache Möglichkeit durch die Lehrenden selbst die neuen Themen dezentral in die Vorlesungen aufzunehmen**. Dazu muss keiner gefragt werden, es braucht keine neuen Strukturen, es kann sofort gemacht werden und es kostet kein Geld. Im **Flugzeugentwurf** kann besprochen werden, wie batterieelektrische Flugzeuge entworfen werden, oder Wasserstoffflugzeuge. Optimiert wird nicht mehr nur zur Minimierung der Kosten oder des Kraftstoffverbrauchs, sondern auch hinsichtlich der Erderwärmung, des Ressourcenverbrauchs oder die Wirkung des Flugzeugs im gesamten Lebenszyklus. Ähnlich kann man die neuen Ideen auf die Fächer Aerodynamik, Leichtbau, Triebwerkskunde, ... verteilen. **Es liegt nur an den Personen, die die Fächer vertreten, in welchem Umfang die neuen Fragestellung in den Unterricht eingeben, und was man bereit ist (bei immer begrenzter Zeit) dafür auch aus dem Curriculum zu streichen**. Bei eher konservativ geprägter Lehre wird wenig bis nichts gestrichen und entsprechend auch wenig bis nichts neu aufgenommen.

Technologien

7. Was sind die größten technologischen Neuerungen im Bereich nachhaltige Luftfahrt, insbesondere hinsichtlich der Kraftstoffe und Antriebskonzepte?

Siehe oben.

8. Welche Chancen und Risiken sind mit ihnen verknüpft?

Ein Risiko besteht darin, dass vor allem auf die Verringerung von CO₂ fokussiert wird, **Nicht-CO₂-Effekte** in der Diskussion um technologische Lösungen aber **nicht ausreichend berücksichtigt** werden. E-Fuels sind vor diesem Hintergrund kritisch zu sehen, weil sie genauso wie Kerosin bei der Verbrennung CO₂ freisetzen. **Ohne einen CO₂-Kreislauf bleiben die E-Fuels (fast) ohne positive Wirkung auf das Klima**. Es muss mindestens die Menge an CO₂ zuerst aus der Luft entnommen werden, die anschließend durch die Verbrennung des Kraftstoffes der Luft wieder zugeführt werden wird.

Eine Chance besteht bei **e-Fuels** darin, dass ein **Zertifikatehandel** etabliert werden könnte. Dadurch könnte verhindert werden, dass e-Fuels vom Ort, wo sie unter günstigen Bedingungen hergestellt werden können, unter klimaschädlichen Bedingungen an den Ort transportiert werden müssen, wo sie benötigt werden. Stattdessen könnten einzelne Fluggesellschaften mit Hilfe von Zertifikaten sicherstellen, dass sie nachweisbar mit 100 % e-Fuels fliegen – obwohl ihre Flugzeuge möglicherweise nur für maximal 50 % davon zugelassen sind.

Risiko: Es ist nicht vorstellbar, dass die gesamte **Menge an e-Fuels**, die in Deutschland benötigt

**Interview zur Kurzstudie
"Innovative Antriebe und Kraftstoffe für einen klimaverträglicheren Luftverkehr"**

wird, auch in Deutschland hergestellt werden kann. **Dafür reichen die Ressourcenz in Deutschland z.B. die Flächen nicht aus.** Siehe auch Antwort auf Frage 11 mit Blick auf das Risiko Green Washing.

9. Wie können sie gefördert werden?

Nicht besprochen.

Ökologie

10. Worin bestehen die zentralen Herausforderungen (oder gar Widerstände) die Luftfahrt langfristig ökologisch verträglich zu gestalten? (z. B. seitens der Hersteller, Verbände, VerbraucherInnen, Forschungslücken, Finanzierungsbedarf, regulatorische Rahmenbedingungen...)

Wie bereits erwähnt, werden neue, nachhaltige Kraftstoffe oder Antriebskonzepte die Herausforderung der Emissionsreduktion nicht allein lösen. **Eine absolute Emissionsreduktion wird nur möglich sein, wenn statt Verkehrswachstum eine Reduktion des Luftverkehrs erreicht werden kann.**

Durch die Optimierung von Flugrouten (tiefer fliegen) können Nicht-CO2-Effekte reduziert werden. Darüber kann eine erhebliche Wirkung erzielt werden. Es gibt bereits ausreichende Erkenntnisse, etwa zur Wirkung der Flughöhe auf die Umweltwirkung von Flugzeugen. Damit könnte man bereits jetzt positive Effekte auf das Klima erzielen. Zwar geht mit einer niedrigeren Flughöhe ein höherer Kraftstoffverbrauch einher, allerdings überwiegen die positiven Effekte (Reduzierung von Kondensstreifen etc.) die negativen Effekte, die durch den erhöhten Kraftstoffverbrauch entstehen. Im Detail mögen noch wissenschaftliche Erkenntnisse fehlen, wie beispielsweise zur verbesserten Vorhersage von atmosphärischen Bedingungen, das darf aber kein Argument sein, die Anwendung von Maßnahmen mit einer erheblichen Wirkung aufzuschieben.

11. Ist Nachhaltigkeit ein „echtes Anliegen“ in der Luftfahrtindustrie? Inwieweit ist Nachhaltigkeit ein Feigenblatt? (*Green Washing*)

Nachhaltigkeit ist sicher kein echtes Anliegen der Luftfahrtindustrie. Für die Luftfahrt ist nur soviel Nachhaltigkeit erforderlich, wie es notwendig ist, um politisch zu überleben.

Ein Flugzeug mit 100 % SAF betreiben zu können ist nicht verkehrt. Dies aber groß zu bewerben, wenn SAF nur in kleinsten Anteilen flächendeckend zum Einsatz kommt ist **Green Washing**. Beim Betanken ist aufgrund der aktuellen infrastrukturellen Voraussetzungen nur eine Mischung von SAF mit herkömmlichen Kerosin möglich., Das musste auch Ethiad im letzten Jahr feststellen, als ein Flug mit 100 % reinem SAF nur virtuell möglich wurde. Das bedeutet, dass schon heute virtuelle Flüge mit 100 % SAF möglich sind, obwohl die Flugzeuge nicht für 100 % SAF zugelassen sind. Es geht also darum, wieviel SAF eine Airline kauft und nicht darum, wieviel SAF in ein bestimmtes Flugzeug kommt. Damit sind wir wieder bei den SAF-Zertifikaten (siehe Frage 8 sowie unten). SAF-Zertifikate werden beispielsweise von BP vorbereitet.

CO2-Kompensation ist kritisch zu sehen, da hier Betrugsmöglichkeiten bestehen und künftig noch zunehmen könnten, wenn SAF bzw. e-Fuels ebenfalls in Form von Zertifikaten gehandelt werden. Daher sind effektive Kontrollmechanismen wichtig.

**Interview zur Kurzstudie
"Innovative Antriebe und Kraftstoffe für einen klimaverträglicheren Luftverkehr"**

Handlungsbedarfe

12. Welche weiteren Handlungsbedarfe sehen Sie im Themenfeld nachhaltige Luftfahrt?
(Bspw. in Bezug auf politische, rechtliche, ökonomische, ökologische und technologische Rahmenbedingungen)

Es gibt **ordnungspolitische Instrumente**, die heute schon zur Verfügung stehen: In Deutschland wird versucht, über Förderung bzw. **Anreizpolitik** gewünschte Ziele zu erreichen. **Alternativ** könnte auch über **strengere Regulierung** nachgedacht werden

Die Flughöhe könnte in Abhängigkeit lokaler atmosphärischer Bedingungen **vorgegeben werden**.

Auch könnte **ordnungspolitisch eingegriffen** werden, um Nicht-CO2-Effekte zu reduzieren, die durch Ruß verursacht werden. Sogenanntes **Hydrotreating/Hydrotreatment** kann in Raffinerien durchgeführt werden, wobei durch Wasserstoff Aromate im Kerosin aufgebrochen werden. Die dadurch erhöhten Kosten für Treibstoff führen bislang zu einer Blockadehaltung durch die Airlines.

Noch etwas vergessen?

- Gibt es etwas, was ich Sie noch nicht gefragt habe, Ihnen aber bei dem Thema besonders wichtig ist?

Abschluss und Verbleibe

- **Weitere Interviewpartner:** Welche weiteren relevanten Personen verschiedener Akteurskreise können Sie uns benennen, deren Perspektive wir unbedingt berücksichtigen sollten?
- Welche **Quellen/Studien** etc. können Sie uns empfehlen?
- **Freigabe des Interviews:** Im Anschluss an unser Gespräch werden wir die Ergebnisse in einem Protokoll dokumentieren, das wir Ihnen mit einer entsprechenden Datenschutz- und Einverständniserklärung zur Durchsicht und Freigabe zur Verfügung stellen. In der Studie möchten wir uns gerne sinngemäß aber nicht wortwörtlich auf Inhalte des Interviews beziehen.

Weitere Quellen zum Einstieg in das Thema:

SCHOLZ, Dieter, 2022. Argumente zum Umweltschutz in der Luftfahrt. In: DGLR. *Luft- und Raumfahrt*, vol. 43, no. 3, pp. 28-31. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.48441/4427.511>.

SCHOLZ, Dieter, 2022. *Umweltschutz in der Luftfahrt : Hintergründe und Argumente zur aktuellen Diskussion*. Bericht. Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Aircraft Design and Systems Group (AERO). Verfügbar unter: <https://doi.org/10.48441/4427.225>.

SCHOLZ, Dieter, 2022. Grünes Luftfahrtforschungsprogramm : eine Vision aus Werbeslogans. In: *airliners.de*, 2022-05-03. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.48441/4427.439>.

Vielen Dank, dass Sie für das Interview zur Verfügung standen!