



Ergebnisse des Arbeitskreises klimaneutrale Luftfahrt

-

Zentrale Handlungsfelder auf dem Weg zu einem umwelt- und klimaschonenden Luftverkehrssystem der Zukunft

In ihrem Koalitionsvertrag hat sich die Bundesregierung das Ziel gesetzt, Deutschland zum Vorreiter beim CO₂-neutralen Fliegen zu machen. Um die ambitionierte Zielmarke der Klimaneutralität bis 2045 in Deutschland und der Klimaneutralität in Europa bis 2050 zu erreichen, bedarf es erheblicher gemeinsamer Anstrengungen aller Stakeholder.

Aufsetzend auf dem gemeinsamen Papier der Bundesregierung „Klimaneutrale Luftfahrt“ vom 21. Juni 2022 hat die Bundesregierung mit dem Arbeitskreis klimaneutrale Luftfahrt (AKkL) einen Dialog mit den relevanten Akteuren aus Industrie, Verkehrswirtschaft, Forschung und Zivilgesellschaft gestartet, um konkrete und realistische Maßnahmen und Aktionen für eine Transformation hin zu einer innovativen und klimaneutralen Luftfahrt zu vereinbaren und ihre Umsetzung zu ermöglichen.

In drei Arbeitsgruppen hat der AKkL seitdem intensiv gearbeitet und zur Nationalen Luftfahrtkonferenz am 25. September 2023 seine Zwischenergebnisse präsentiert. Zur ILA 2024 legt der AKkL die Ergebnisse seiner drei Arbeitsgruppen vor:

- AG I: Markthochlauf Sustainable Aviation Fuels & Power to Liquid
- AG II: Technologien für die klimaverträgliche Verkehrsluftfahrt von morgen
- AG III: Effizienter Luftverkehr als Baustein zu einer klimaneutralen Luftfahrt

BMWK und BMDV danken den Mitgliedern des AKkL und seiner Arbeitsgruppen für die intensive Arbeit und das große Engagement. Durch die gemeinsame Anstrengung hat der AKkL seit Beginn der 20. Legislaturperiode wichtige Schritte auf dem Weg zur

klimateutralen Luftfahrt genommen. Die Bundesregierung hat, teilweise basierend auf den Arbeiten des AKkL, folgende Themen vorangebracht, für die auch die ILA 2024 ein hervorragendes Schaufenster darstellt:

- Mit aktuell ca. 2 Mio. t/Jahr (86 PJ/Jahr) wird heute so viel Sustainable Aviation Fuel (SAF) produziert, wie noch nie. Dies ist ein deutliches Bekenntnis der Industrie für die Bedeutung von erneuerbaren Kraftstoffen zur Reduktion der Klimawirkungen im Luftverkehr.

Noch immer ist das Bild aber von knappen Verfügbarkeiten und deutlichen Mehrpreisen gegenüber fossilem Kerosin geprägt. Umso wichtiger ist ein erfolgreicher Markthochlauf von SAF. Die Bundesregierung unterstützt die Überwindung der technischen Hemmnisse durch die Förderung von Forschungs- und Demonstrationsvorhaben im Rahmen der Förderrichtlinie „Entwicklung regenerativer Kraftstoffe“. Die Arbeiten des AKkL zeigen allerdings auch, dass es neben regulatorischen Rahmenbedingungen und Förderprogrammen entscheidend auf die Mobilisierung von privatem Kapital zur Investition in Produktionsanlagen ankommt.

- Durch das gemeinsame Engagement der ILA-Partner und der Bundesregierung wird auf der ILA 2024 so viel SAF genutzt wie noch nie. Neben der Bundeswehr und dem DLR wird auch Emirates SAF-Blend für seinen Flugverkehr im Zusammenhang mit der ILA nutzen. Zudem wird der von Airbus präsentierte A321XLR im Flugprogramm der ILA mit SAF-Beimischung fliegen.
- Innovationen „made in Germany“ machen die Luftfahrt effizienter und sichern industrielle Wertschöpfung auch für künftige Flugzeuggenerationen. Die Bundesregierung dankt dem AKkL für die umfassende technologische Bestandaufnahme, die sowohl kurzfristig wirksame quick wins als auch mittel- und langfristig nötige Technologieschritte wie evolutionäre und revolutionäre Antriebe oder den hochgestreckten Flügel enthält.
- Die Diskussionen im AKkL waren daher auch eine Basis für die Fortentwicklung und Fortsetzung der F+E-Förderung der Bundesregierung für die Luftfahrtindustrie, insbesondere für den aktuellen Aufruf des Luftfahrtforschungsprogramms LuFo Klima, des Nationalen

Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie sowie für die Neugestaltung des Luftfahrt-Darlehensprogramms LED. Mit LuFo VII wird die Bundesregierung innovative Technologieprojekte am Wirtschaftsstandort Deutschland mit einem Gesamtbudget von rund 300 Mio. Euro für das Jahr 2024 fördern. Der Fokus der neuen Programmphase liegt auf der Reduktion des Gesamtenergiebedarfs und der Umweltwirkungen der Luftfahrt.

- Um Klimaneutralität zu erreichen, bedarf es disruptiver Antriebstechnologien. In Abstimmung mit den Arbeiten des AKkL hat die Bundesregierung den LuFo Klima-Förderschwerpunkt UpLift H2 Aviation weiter vorangetrieben und fördert ihn mit 45 Mio. EUR. UpLift ermöglicht Innovatoren die praktische Erprobung von H2-Technologien am Boden und im Flug. Zur ILA wird die UpLift Do328 des DLR bereits mit 100% synthetischem Kraftstoff einfliegen, um zu zeigen, dass Fliegen mit neuartigen aromaten-freiem PtL-Kraftstoffen machbar ist, sobald es aus erneuerbaren Quellen am Markt verfügbar sein wird.

Erstmals für den aktuellen Förderaufruf LuFo VII-3 stehen die UpLift-Bodenprüfstände und ein Regionalflugzeug des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) als Versuchsplattform für konkrete Erprobungsprojekte bereit.

- Die Messbarkeit und die Vergleichbarkeit von Klimaschutzmaßnahmen ist Grundvoraussetzung dafür, knappe Ressourcen mit größtmöglichem Ertrag einzusetzen. Das vom DLR entwickelte und von der Bundesregierung geförderte Bewertungstool ALICIA erlaubt es, die Reduktionspotenziale neuer Technologien, des Einsatzes von SAF/PtL sowie neuartiger Flugrouten mit Blick auf die CO₂-Emissionen und die Nicht-CO₂-Effekte zu quantifizieren. Die konsequente Anwendung durch den AKkL zeigt, welche Ansatzpunkte mit welchem Potential für Klimaschutzmaßnahmen es in den bestehenden Flugzeugflotten gibt. Im Falle der Shark-skin-Technologie stellt sich dies sogar als Businesscase dar.
- Auf dem Weg zur Klimaneutralität treten neben den CO₂-Emissionen des Luftverkehrs zunehmend seine Nicht-CO₂-Effekte in den Fokus der politischen Debatte. Die Arbeiten im AKkL haben nochmals sehr deutlich den Blick für die Bedeutung des Themas geschärft, ohne den noch immer bestehenden

Forschungsbedarf bei der praktischen Erfassung und konkreten Quantifizierung von Nicht-CO₂-Effekten zu unterschlagen. Die Bundesregierung begrüßt dabei insbesondere die Initiative des AKkL für ein sog. 100-Flüge Programm, das am 7. März mit ersten Flügen begonnen hat. In diesem europaweit einmaligen Feldversuch erproben die DFS Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS), das DLR sowie der Deutsche Wetterdienst (DWD) gemeinsam mit den deutschen Fluggesellschaften Lufthansa Group, TUI, DHL und Condor auf ausgewählten, regulär geplanten Flügen, wie sich klimaschädliche langlebige Kondensstreifen vermeiden lassen. Das LuFo-Projekt „D-KULT“ hat hierfür erste Ergebnisse in Form von tagesaktuellen Prognosen von klimasensitiven Gebieten geliefert, die vom DLR in Kooperation mit dem DWD aufbereitet und in der Flugplanung der beteiligten Fluggesellschaften genutzt wurden.

- Ein weiterer Beitrag zur Verhinderung von CO₂-Emissionen kann mit dem zukünftigen Verkehrssteuerungsprinzip BEBS „Best Equipped Best Served“ erreicht werden, welches das bei der Internationalen Zivilluftfahrtorganisation (ICAO) bestehende Prinzip des „First come first served“ ergänzt. BEBS setzt Anreize für die Luftfahrtunternehmen, ihre Flotte schneller auf innovative Technologien umzustellen. Im Gegenzug wird den Luftfahrtunternehmen eine Vorrangbehandlung in Aussicht gestellt, um den klimaschonenden Effekt nicht in einem langwierigen Landeverfahren zu verlieren.

BMDV und BMWK begrüßen die inhaltliche Qualität und Tiefe der beigefügten Ergebnisprotokolle der Arbeitsgruppen des AKkL und werden die vorgeschlagenen Maßnahmen prüfen. Gemeinsam mit dem AKkL werden wir das weitere Verfahren abstimmen und die Möglichkeiten ausloten, Maßnahmen aus den beigefügten Ergebnisprotokollen umzusetzen. Bereits jetzt dienen die Ergebnisse als Ansporn, den gemeinsam eingeschlagenen Weg fortzusetzen: Die Luftfahrt mit ambitionierten aber realistischen Maßnahmen schnellstmöglich auf einen nachhaltigen Pfad zu bringen, der die Erreichung der klimapolitischen Ziele ermöglicht und zugleich Wettbewerbsfähigkeit, Wertschöpfung und hochqualifizierte Beschäftigung in Deutschland sichert.

Berlin, den 4. Juni 2024

Die auf den folgenden Seiten gegebenen Empfehlungen sind Ergebnisse des Arbeitskreises und geben nicht zwingend die Einschätzung der Bundesregierung wieder.

Arbeitskreis klimaneutrale Luftfahrt

Ergebnispapier der AG 1 (SAF)

Aus den Arbeitsergebnissen der letzten Monate hat die AG SAF ein Maßnahmenpaket entwickelt, das die nächsten Schritte für einen erfolgreichen Hochlauf von erneuerbaren Flugkraftstoffen (SAF) skizziert. Neben dieser Kurzfassung stellt die AG SAF allen Beteiligten und Interessierten im Rahmen der ILA 2024 eine ausführliche Fassung des Maßnahmenpakets zur Verfügung.

Maßnahme 1: Schnelle Einrichtung der angekündigten Interministeriellen Steuerungsgruppe Erneuerbare Kraftstoffe (ISEK)

Die erfolgreiche Arbeit der AG SAF beruht auf der engen Kooperation mit den beteiligten Ressorts der Bundesregierung. Die Einrichtung der angekündigten Interministeriellen Steuerungsgruppe Erneuerbare Kraftstoffe (ISEK) - insbesondere unter Beteiligung von BMWK, BMDV, BMUV und BMF - ist ein wichtiger Schritt zur stärkeren Koordinierung innerhalb der Bundesregierung.

Maßnahme 2: Fortführung der AG SAF unter Schirmherrschaft der Bundesregierung

Das hohe Engagement aller Mitglieder der AG SAF zeigt, dass ein großes Interesse besteht, deren erfolgreiche Arbeit fortzuführen. Entscheidend dafür ist das Engagement der Bundesregierung, insbesondere von BMDV, BMWK und gleichwertig BMUV.

Maßnahme 3: Wettbewerbsverzerrungen und Carbon Leakage vermeiden

Eine auf europäische Flughäfen beschränkte Beimischungsverpflichtung von SAF führt aufgrund des deutlich höheren Preises von SAF zu erheblichen Wettbewerbsnachteilen bei in der EU beheimateten Airlines. Passagierströme bei Flügen nach Asien, Afrika und Australien würden sich daher deutlich verstärkt von EU-Hubs zu Non-EU-Hubs, an denen keine Beimischungsverpflichtungen bestehen, verlagern. Verluste an wirtschaftlicher Wertschöpfung in der EU und Carbon Leakage sind die Folge. Um dies zu verhindern, bedarf es eines Ausgleichs des Preisgaps zwischen SAF und fossilen Kraftstoffen. Die Einführung einer endzielbezogenen und zweckgebundenen Abgabe in Anlehnung an die Luftverkehrssteuer oder vergleichbare Maßnahmen könnten dies sicherstellen, indem sie Mehrkosten für SAF endzielbezogen auf alle Marktteilnehmer verteilen.

Maßnahme 4: Investitionsanreize für die E-SAF-Produktion schaffen

Der in Zusammenarbeit mit der AG SAF erstellte CENA SAF Outlook 2024 - 2030 hat gezeigt, dass bisherige Investitionen in die SAF-Produktion bei weitem nicht ausreichend sind, um die erforderlichen Mengen bereitzustellen. In Ergänzung zu den bestehenden

Quoten sind weitere Maßnahmen erforderlich, um private Investitionen anzureizen. Für E-SAF schlägt die AG SAF langfristig orientierte öffentliche Ausschreibungen vor, die z.B. durch eine wie unter Pkt 3. vorgeschlagene Abgabe finanziert werden könnten. Ergänzend müssen De-Risking-Instrumente wie zinsgünstige Nachrangdarlehen den Zugang zu privatem Kapital erleichtern. Für die Gewinnung, Importe und Nutzung von Kohlenstoff und Grundprodukten (z.B. Wasserstoff) zur SAF-Produktion müssen geeignete Rahmenbedingungen geschaffen werden. Erste Projekte müssen durch Bestandsschutzmaßnahmen („Grandfathering“) über einen Zeitraum von 15-20 Jahren vor Änderungen in der Regulatorik geschützt werden.

Maßnahme 5: Erstellung eines offiziellen Leitfadens für verpflichtete Unternehmen und potenzielle Investoren

Umfang und Komplexität der Regulierungen und Förderungen sind für Industrieakteure und Investoren sehr herausfordernd oder sogar abschreckend. Es gibt zudem zahlreiche rechtliche Unklarheiten und einschränkende Bedingungen, beispielsweise für die einzusetzenden Rohstoffe, Produktionsverfahren oder Anrechnungsmethoden. Daher schlagen wir der Bundesregierung vor, einen offiziellen Leitfaden zu erstellen. Damit dies gelingt, sollte sich die Bundesregierung auch auf europäischer Ebene für weitere Klarstellungen einsetzen.

Maßnahme 6: SAF-Produktion als industriepolitisches Instrument

In Anbetracht der zentralen Rolle, die erneuerbare Kraftstoffe für die Defossilisierung der Wirtschaft insgesamt einnehmen, sollte Deutschland auch weiterhin um eine Vorreiterrolle bei der Entwicklung und Skalierung des neuen Wirtschaftszweiges rund um die Produktion von E-SAF bemüht sein. Hier müssen nicht nur Pilot- und Forschungsprojekte, sondern auch Großprojekte im Industriemaßstab gezielt gefördert werden, um SAF-Quoten zu ergänzen und deren Erfüllung zu gewährleisten. Darüber hinaus können weitere Technologien, die für die SAF-Produktion langfristig eine wichtige Rolle spielen, wie etwa Direct Air Capture, zur Marktreife weiterentwickelt werden.

Maßnahme 7: Forschung zu SAF bündeln und in die Praxis überführen

Die AG SAF hat wichtige Forschungsbereiche identifiziert, die für einen erfolgreichen Markthochlauf und effizienten Einsatz von SAF relevant sind. Es wird empfohlen, diese Themenbereiche mit geeigneten Mitteln zu unterstützen und Plattformen zu schaffen bzw. im Rahmen der AG SAF weiterzuführen und eine Bündelung und schnelle Umsetzung der Erkenntnisse in die Praxis ermöglichen. Dies umfasst unter anderem den Zusammenhang zwischen Kerosinzusammensetzung und Klimawirksamkeit mit dem Ziel der Verringerung von Nicht-CO₂-Effekten. Weiterhin gibt es wichtige Fragestellungen im Bereich Logistik und Infrastruktur.

Maßnahme 8: Vereinfachung und Beschleunigung des SAF-Hochlaufs durch Book & Claim-Systeme

Eine Weiterentwicklung des SAF-Flexibilisierungsmechanismus, wie er in der ReFuelEU Aviation vorgesehen ist, hin zu einem Book and Claim Anrechnungsmechanismus, kann dazu beitragen, den SAF-Markthochlauf kurz- und mittelfristig zu beschleunigen. Einige Teilnehmer der AG SAF haben anhand dieser Punkte ein Whitepaper („Book-and-Claim

for Sustainable Aviation Fuel“) zur konkreteren Gestaltung eines solchen Mechanismus entwickelt, welches die AG SAF auch im Anhang der ausführlichen Fassung des Maßnahmenpakets bereitstellt.

Maßnahme 9: Strategische Weiterentwicklung der Nutzung von biogenen Rohstoffen

SAF aus biogenen Rohstoffen spielen eine wichtige Rolle, da E-SAF erst nach 2030 in größerem Umfang zur Verfügung stehen kann. Die Art und der Umfang des Einsatzes von biogenen Rohstoffen unterliegen jedoch einer Abwägung von Nachhaltigkeits-, sozialen und wirtschaftlichen Aspekten. Innerhalb der AG SAF gibt es dazu unterschiedliche Auffassungen. Eine strategische Richtungsentscheidung dazu muss auf politischer Ebene getroffen und konsequent umgesetzt werden. Die AG SAF sieht Handlungsbedarf bei aktuell uneinheitlichen, unklaren und sich teils widersprechenden Regulierungen, komplexer Administration und ausbaufähigen Zertifizierungssystemen und Prüfmechanismen. Innovative Konversionsverfahren zur Erschließung neuartiger Rohstoffe sollten gezielter zur Marktreife gebracht werden.

Maßnahme 10: Investorenkonferenz auf Initiative der Bundesregierung

Im Rahmen einer internationalen Investorenkonferenz unter Schirmherrschaft der Bundesregierung können relevante Stakeholder in einen strategischen Dialog mit der Finanzbranche gebracht werden. Ziel sollte es dabei sein, Kapital für Investitionen in Produktionsanlagen in Deutschland zu mobilisieren.

Ergebnispapier der AG 2 (Technologie)

Ziel der AG 2 Technologie ist das Herausstellen der wesentlichen Technologien zur klimaneutralen Luftfahrt und, was es braucht, um diese beschleunigt umzusetzen. Hier die bislang erzielten Ergebnisse im Überblick, erstmalig mittels einer quantifizierten Potentialabschätzung priorisiert:

Quick Wins (<https://www.bdli.de/sites/default/files/2024-05/UAG1-QuickWins.pdf>) – erzielen einen positiven Klimaeffekt und lassen sich schnell umsetzen. Eine Auswahl der Maßnahmen mit größter Wirkung:

- Shark skin (Aerodynamik Flugzeugzelle)
→ Transfer zuerst B777 / A330 dann A320
- Innovative Verdichterwaschverfahren (Triebwerke)
- Verbesserte Wing Tip Devices für Langstreckenflugzeuge
- Pilotenunterstützungssysteme für treibstoffoptimierte Anflüge
- Brauchwassernutzung für Toiletten
- Bereitstellung vorklimatisierter Luft an Flughäfen

Wenn die Weichen richtig gestellt sind, ist zu erwarten, dass diese Maßnahmen bei einem großen Teil der Weltflotte umgesetzt werden. Im Ergebnis steht eine Klimawirkung in der Größenordnung des aktuellen innerdeutschen Luftverkehrs.

Ein Teil der identifizierten Quick Wins wird für die Betreiber der Luftfahrzeuge aufgrund des damit verbundenen geringeren Verbrauchs an Flugkraftstoffen kostendeckend sein. Für diese Maßnahmen ist eine wirksame Werbestrategie durch alle Beteiligten für eine schnelle Umsetzung elementar. Bei anderen Maßnahmen sind jedoch Anschubfinanzierungen für Betreiber oder finanzielle Unterstützung für den Hersteller nötig. Denn die Kostendeckung tritt hier erst mit deutlicher Zeitverzögerung (z. T. größer als 15 Jahren) ein. Übliche von Betreibern geforderte Amortisationszeiträume sind aufgrund des volatilen Geschäftsreise- und Tourismusgeschäfts jedoch selten länger als 5 Jahre.

Enabler (<https://www.bdli.de/sites/default/files/2024-05/UAG2-Klima.pdf>) für Technologiesprünge der Antriebssysteme und der Flugzeugzelle im Bereich der Struktur, Aerodynamik aber auch der Systemtechnik. Sie müssen im Rahmen der nächsten Generation von Luftfahrzeugen umgesetzt werden, um eine massive Steigerung der Klimaverträglichkeit zu erzielen:

- Über 90 % der Klimawirkung im aktuellen Luftverkehr entsteht durch Luftfahrzeuge mit mehr als 100 Sitzplätzen. Klimafreundliche Technologien müssen daher prioritär in diesen Segmenten eingeführt werden. Die Langstreckenflotte hat mit ca. 45% einen erheblichen Anteil an den gesamten klimawirksamen Emissionen der Luftfahrt. Der Einsatz von Wasserstoff bei Langstreckenflugzeugen ist zwar nicht unmöglich, scheint aufgrund der Integration voluminöser Tanks in den Rumpf aber nicht

praktikabel. Daher bleiben SAF die geeignetsten nachhaltigen Energieträger in diesem Marktsegment. Aufgrund der absehbaren Knappheit und hohen Kosten dieses Energieträgers sind weitere signifikante Effizienzsteigerungen erforderlich, um deren Verbrauch zu minimieren.

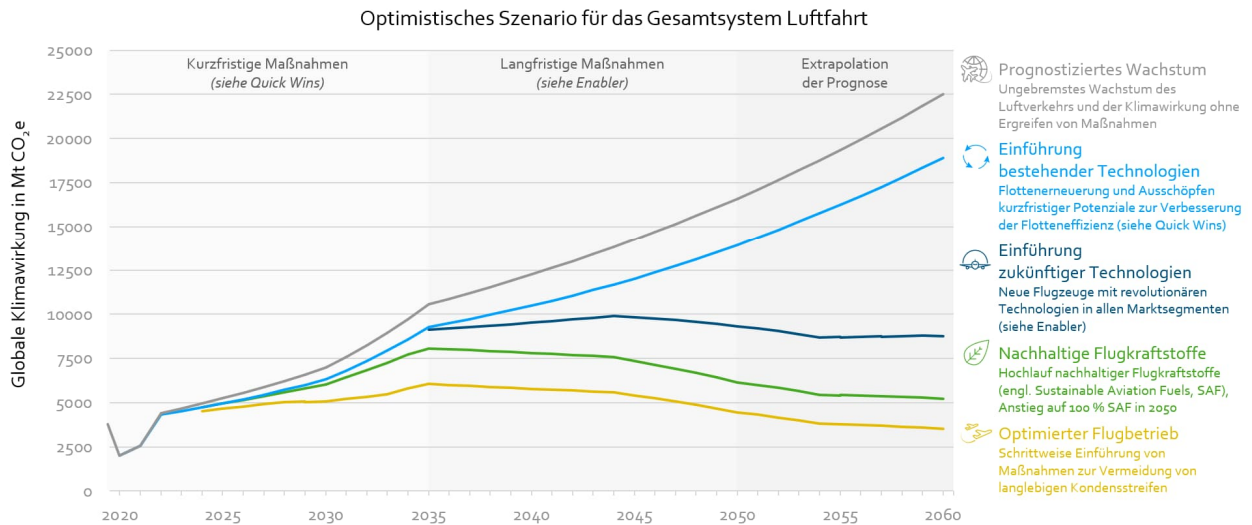
- Für die Kurz-/Mittelstrecke weisen evolutionäre und revolutionäre Gasturbinenkonzepte, betrieben mit SAF/PtL oder Wasserstoff großes Potenzial auf, um die Klimawirkung der Luftfahrt ab 2035 bzw. 2040 deutlich zu reduzieren. Im Vergleich zu SAF/PtL wird Wasserstoff seine Vorteile in der 2. Hälfte des Jahrhunderts entfalten, wenn luftfahrttaugliche Technologien sowie Infrastrukturen verfügbar sind.
- Wenn gleich der Anteil der Kurzstrecke bis 100 Passagiere an der Klimawirkung der Luftfahrt eher gering ist, bedarf es auch hier klimafreundlicher Produkte. Zudem ist das Risiko bei der Einführung neuartiger Konzepte in diesem Marktsegment deutlich reduziert, z.B. mittels wasserstoffbetriebener Brennstoffzelle. Auch der Sprung in das Kurz-/Mittelstreckensegment ist aus heutiger Sicht vorstellbar, wenngleich vermutlich noch nicht in 2035. Eine bessere Marktdurchdringung mit hohem Klimawirkungs-Reduktionspotential verspricht man sich von einem Flugzeug höherer Nutzlast mit mehr Reichweite. Ein Referenzpunkt für aktuelle Studien ist eine Kapazität von 100 Sitzen mit einer Reichweite von 1000 NM. Diese Nutzlast-/Reichweiten-Fähigkeit lässt sich mit einem Brennstoffzellenantrieb oder einer Wasserstoff-Gasturbine darstellen.
- Neben dem Antriebssystem muss die Energieeffizienz des Flugzeugs maximiert werden (Massenreduktion, Widerstandsreduktion, Gesamtsystemeffizienz). Das größte Potenzial hat hierbei der hoch gestreckte Flügel.

Alle Technologien (Quick Wins / Enabler für div. Missionsprofile) wurden bzgl. ihrer zu erwartenden Klimawirkung (Einsparpotenzial) mit dem DLR Tool ALICIA¹ bewertet und einer Sensitivitätsanalyse unterworfen. Aufgrund der Indienststellung neuer Flugzeuge in den 2030-2040er Jahren erfolgt die Auswertung für die Jahre 2050 - 2060. Es ist zu beachten, dass einige dieser Maßnahmen ihr volles Potenzial erst nach 2060 entfalten können.

In Summe ergibt sich folgendes Bild:

¹ ALICIA ist ein Bewertungstool für das gesamte (weltweite) Lufttransportsystem. Dadurch ergeben sich aus den Darstellungen/Ergebnissen Hinweise und Ableitungen, wie das zukünftige Luftverkehrssystem aussehen kann, bzw. welche Randbedingungen und Einflussgrößen berücksichtigt werden müssen, inkl. politischer Maßnahmen. ALICIA fußt auf neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen und erlaubt, die kurz-, mittel- und langfristigen Klimawirkungsreduktionspotenziale neuer Technologien, des Einsatzes von SAF/PtL sowie neuartiger Flugrouten mit Blick auf die CO₂- Emissionen und die Non CO₂-Effekte nachvollziehbar zu quantifizieren.

Übergreifende Maßnahmen



Um die errechneten Emissionseinsparungen erzielen zu können, ist das Erreichen der Technologiereife für die „Enabler“ zum Ende dieser Dekade notwendig, was gemeinsame Anstrengungen von Industrie, Wissenschaft und Politik zur Voraussetzung hat!

Gerade unter Berücksichtigung, dass bereits in den letzten 30 Jahren sehr erhebliche Emissionsreduzierungen realisiert und Einsparpotenziale umgesetzt wurden, überrascht es nicht, dass der Luftverkehr sehr schwer klimaneutral zu entwickeln ist. Mit Blick auf das hier gezeigte Szenario muss eine Konsequenz sein, die gemeinsamen Anstrengungen von Industrie, Wissenschaft, Forschung und Politik noch weiter zu intensivieren und alle Potenziale parallel zu adressieren.

Förderung (<https://www.bdli.de/sites/default/files/2024-05/UAG3-Foerderung.pdf>)

Um das Ziel „Klimaneutralität der Luftfahrt“ zu erreichen, sind aufbauend auf Förderprogrammen wie LuFo und NIP, UpLift und EU-Förderung (Clean Aviation) die jetzt folgenden Maßnahmen notwendig:

- BMWK: Förderung der erforderlichen Technologiebausteine, die noch nicht in laufenden Programmen adressiert sind
- BMWK, Bundesländer: Bereitstellung von Versuchs- und Integrationsplattformen für die untersuchten Konzepte zur Beschleunigung der Technologieentwicklung
 - H₂-taugliche Prüfstände, H₂-Triebwerks-Höhenprüfstand, Flugerprobungsplattform(en), Fertigungstechnologien und Pilotproduktionsanlagen, Testeinrichtungen für Subsysteme und Ausrüstung, Kryo-Windkanal in Erweiterung der UpLift Prüflandschaft und darüber hinaus.
- BMDV, Bundesländer: Aufbau einer Infrastruktur für Wasserstoff in der Luftfahrt

- (L)H2 Produktion/Lieferung, LH2 Speicherung, LH2 Handling am Flugzeug
- BMDV, EASA: Flexibilisierung der Verfahren für Flugdemonstration und Zulassung
 - Anpassung der EASA, die dem technologischen Wandel gerecht wird, Einführung neuer Technologien mit vertretbarem Nachweisaufwand
- BMWK: Förderung von hochratenfähigen Fertigungstechnologien und Lieferketten
 - Automatisierungstechnologien, Robotikanwendungen, digitale Fertigungsmethoden und virtuelle Zulassungsmethoden
- BMWK: Reduzierung von Implementierungshürden für QuickWins durch teillrückzahlbare Kredite oder Incentivierung für Luftfahrzeugbetreiber, um eine Klimawirkung mit diesen Maßnahmen schnell zu erreichen.
 - Ausweitung von bedingt rückzahlbaren Darlehen zur Einführung und Positionierung innovativer Produkte auf internationalen Märkten oder
 - Förderung von Investitionen in Anlagen, um klimaverträgliche Produkte schneller in den Markt zu bringen

Zur Finanzierung der oben genannten Maßnahmen sollten, wie auch im Koalitionsvertrag vereinbart, u.a. die Einnahmen aus der Luftverkehrssteuer genutzt werden.²

Nächste Schritte:

- gemeinsam mit Ministeriumsvertretern: Vorbereitung eines Implementierungsplanes und
- Definition der Versuchs- und Integrationsplattformen, die die forschende, entwickelnde und herstellende Luftfahrtgemeinschaft in Deutschland benötigt, um in der Lage zu sein, die kommenden Verkehrsflugzeuge in und aus Deutschland heraus, sichtbar und nachhaltig mitzugestalten (UAG 4 bigger picture)

Mitglieder (Einrichtungen) der AG 2:

- Industrie: BDL, BDLI, Airbus, Deutsche Aircraft, Diehl Aviation, LH Technik, Liebherr Aerospace, MTU Aero Engines, Novelis, Rolls Royce Deutschland, Volocopter
- Forschung: DLR, Bauhaus Luftfahrt
- Gewerkschaften: IG Metall
- Bundesregierung: BMDV, BMWK, BMVG

² Vgl. [Mehr Fortschritt wagen – Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit \(spd.de\)](#), S.42.

Ergebnispapier der AG 3 (Effizienter Luftverkehr)

I. Einleitung

Die AG III hat sich schwerpunktmäßig mit Möglichkeiten und Chancen zum Erreichen einer klimaneutralen Luftfahrt beschäftigt, die durch einen effizienteren Luftverkehr und die dazugehörigen Verfahren, Dienste und Infrastrukturen des Flugbetriebs und der Flugsicherung bewirkt werden können.

Die Klimawirkung des Luftverkehrs ist nach aktuellem Stand der Wissenschaft mindestens doppelt so hoch, wie die seiner reinen CO₂-Emissionen. Ursache hierfür sind die sog. Nicht-CO₂-Effekte, zu denen neben NO_x insbesondere langlebige Kondensstreifen zählen.

Für das Potenzial Flugwege zu verändern und damit Kerosin, CO₂-Emissionen und Nicht-CO₂-Effekte einzusparen, ist eine moderne Flugroutenplanung im Zusammenspiel mit modernster Technik bei der Flugsicherung und bei meteorologischen Planungsgrundlagen erfolgversprechend.

Politik und Luftverkehr können hierfür mittelfristig einen Beitrag zur Vermeidung negativer Umwelteffekte leisten: Das strategische Ziel ist es, zukünftig die Klimaeffekte (Nicht-CO₂ und CO₂) in der Flugplanung und Durchführung systematisch und automatisiert zu berücksichtigen. Die hierfür nötigen speziellen Wetterdaten und Modelle zur Prognose der Klimaeffekte werden zurzeit entwickelt und dann im regulären Flugbetrieb getestet.

II. Ergebnisse der Arbeitsgruppe III

100-Flüge-Trial

DFS Deutsche Flugsicherung, DLR Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt sowie der DWD Deutsche Wetterdienst und deutsche Fluggesellschaften (Lufthansa Group, TUI, DHL und Condor,) erproben im Rahmen des Projekts D-KULT und der Arbeitsgruppe auf ausgewählten (regulär geplanten) Flügen, wie sich langlebige Kondensstreifen im oberen Luftraum vermeiden lassen. Der europaweit einmalige Feldversuch startete am 7. März dieses Jahres und hat insgesamt 100 Flugbewegungen mit effizienter Kondensstreifen-Vermeidung zum Ziel. Das Projekt findet unter wissenschaftlicher Begleitung des DLR statt. Das Luftfahrtforschungsprojekt „D-KULT“ hat hierfür erste Ergebnisse in Form von tagesaktuellen Prognosen von klimasensitiven Gebieten geliefert, die vom DLR in Kooperation mit dem DWD aufbereitet und in der Flugplanung der beteiligten Fluggesellschaften genutzt wurden. Hierbei kommen erstmals Prototyp-Optimierer für die Planung klimaoptimierter Flugtrajektorien zum Einsatz. Das DLR zeichnet auch für die Auswertung der Flüge hinsichtlich ihrer Klimawirkung verantwortlich. Die Erfolgskontrolle, ob Kondensstreifen auf umgeleiteten Flügen vermieden wurden, ist durch Nachweise mit Satellitenbeobachtung und numerischen Modellierungen geplant. Erste Ergebnisse der Auswertung werden für Herbst dieses Jahres erwartet. Klar ist allerdings bereits jetzt, dass die Skalierbarkeit der 100 Flüge dabei begrenzt ist, da es bei

der Vermeidung von ausgedehnten eisübersättigten Gebieten schnell zu Kapazitätsengpässen im Luftraum kommen kann. Zudem befinden sich viele der im Versuch genutzten Daten und Tools noch in der Entwicklung- und Testphase mit folgender Evaluierung. Darüber hinaus sollen die Erprobungsflüge deshalb wichtige Hinweise zur Qualität von Wetterdaten und Prognosemodellen sowie deren Weiterentwicklungspotenzial liefern.

Most Capable Best served (BEBS*)

Das Verkehrssteuerungs-Prinzip BEBS (Most capable best served) ergänzt zukünftig zeitlich oder räumlich begrenzt das primäre Prinzip First Come First Served. BEBS könnte die Flugsicherung in die Lage versetzen, Luftraumnutzern priorisiert Flugverkehrsfreigaben für moderne für Kapazität, Umweltwirkung oder Effizienz vorteilhafte Flugverfahren zu erteilen. Damit kann BEBS Anreize schaffen, um verstärkt klimaschonende Flugverfahren zu nutzen und/oder neue Technologie zu fördern. Um BEBS im Regelbetrieb zu nutzen, ist eine Anpassung der FSDurchführungsV notwendig. Ein Vorschlag hierzu wurde in Zusammenarbeit von DFS, in Zusammenarbeit mit der Deutschen Lufthansa erarbeitet und dem BMDV bereits übermittelt. Parallel sind DFS und Lufthansa ebenfalls in einem Konsortium zusammengekommen, um gemeinsam die Ausgestaltung neuer BEBS-Verfahren im Rahmen eines Forschungsprojekts zu erarbeiten. Erste Konzepte erwarten wir in den kommenden Monaten.

Weitere Herausforderungen für die Zukunft

Bei der Ausgestaltung von klimapolitischen Instrumenten des Bund und der EU ist darauf zu achten, dass die Vermeidung von Nicht-CO₂-Effekten Vorrang gegenüber einer Bepreisung haben muss. Eine reine Bepreisung würde allein zu einer einseitigen Kostenbelastung europäischer Airlines führen. Bis ggf. EU-weit oder international Regelungsrahmen (bspw. Einbezug in EU ETS) geschaffen sind - sollten Anreize für freiwillige Maßnahmen zur Vermeidung von Non-CO₂-Effekten implementiert werden. Mindestanforderung ist das Vorhandensein eines Systems zur klimaoptimierten Flugplanung, dass die Bewertungsfähigkeit bereitstellt. Darüber hinaus ist die Abstimmung eines Prozesses mit dem Network Manager notwendig, sodass klimaoptimierte Flugplanungen im Gesamtsystem europäische Luftfahrt bzgl. zeitlicher Regulierungen (Slotvergabe) oder räumlicher Regulierungen (Verfügbarkeit von Lufträumen) nicht benachteiligt - besser bevorzugt - werden. Das Prinzip BEBS könnte diese Mindestanforderung unterstützen.

D-KULT: Über den 100-Flüge-Trial hinaus, werden mit dem seit 2022 vom Luftfahrtforschungsprogramm (LuFo) geförderten Projekt D-KULT (Demonstrator Klima und Umweltfreundlicher Lufttransport) wichtige wissenschaftliche Grundlagen für die Vermeidung von klimasensitiven Gebieten im Routineflugbetrieb und die Planung von ökoeffizienten Flugtrajektorien gelegt. Projektziel ist die Definition, Entwicklung und Erprobung aller Komponenten (Wetter-, Prognose- und Flugdaten, Software und Prozesse), die für einen Routineeinsatz im Flugbetrieb benötigt werden. D-KULT

betrachtet die gesamten klimawirksamen Emissionen eines Fluges. Zusätzliche CO₂-Emissionen durch längere Flugwege oder ineffizientere Flughöhen werden mit den Nicht-CO₂-Effekten von klimaoptimierten Flugtrajektorien verglichen. Wichtig ist die Fokussierung auf eine operationelle Umsetzbarkeit bzw. auf Auswirkungen im deutschen Luftraum und bei europäischen Flugsicherungsdienstleistern sowie eine nachvollziehbare Gesamtquantifizierung aller Klimaeffekte. Angesichts der Dringlichkeit sind weitere flexible Förderlinien für die Bearbeitung dieser Aufgaben nötig. Die stetige Verbesserung der Daten und Prognosequalität müsste als Daueraufgabe erfasst werden, Wetterdienst und Forschungseinrichtungen - nicht nur in Deutschland - müssen hierfür entsprechend ausgestattet werden. Das Projekt läuft seit Juni 2022 und endet offiziell im Juni 2025. Da eine vollständige Umsetzung klimaoptimierter Trajektorien im realen Flugbetrieb noch einige Zeit in Anspruch nehmen wird, müssen die D-KULT-Projektergebnisse in Anschlussvorhaben in Richtung Routinebetrieb weiterentwickelt werden. Die Förderung eines Nachfolgeprojekts wäre deshalb elementar.

Ertüchtigung des DWD für eine Bereitstellung von meteorologischen Eingangsparametern für das europäische Monitoring, Reporting und Verification (MRV) System und zur klimaoptimierten Flugplanung und Luftraumüberwachung: Um die operationelle Wettervorhersage, insbesondere zur Feuchte in der Tropopause, zu verbessern, müssen Parametrisierungen zur Wolkenmikrophysik und Integration neuer meteorologischer Beobachtungsdaten in die Datenassimilation u.a. in drittmittelfinanzierten Projekten weitervorangebracht werden. Eine operationelle Umsetzung in der Linie bindet zusätzliche Personalressourcen und bedarf mehr Rechen- und Serverleistung.

Aufbau von personellen Kapazitäten entlang Prozesskette Verfahrensplanung: Flugverfahren werden in Deutschland durch DFS geplant, per Rechtsverordnung durch BAF festgelegt, bei lärmrelevanten Änderungen ist zusätzlich Benehmen UBA erforderlich. Personelle Kapazitäten sind bis 2030 an die Umsetzung der PBN-Verordnung (EU 2018/1048) gebunden. Eine personelle Aufstockung ermöglicht Planung, Prüfung und Genehmigung von Flugverfahren schneller und effektiver auf Klimaschutzaspekte auszurichten.

*Angelehnt an ICAO hat sich die Nomenklatur von Best Equipped Best Served (BEBS) zu Most Capable Best Served (MCBS) geändert. Der Lesbarkeit halber wurde die alte Abkürzung behalten.