



Factsheet

Umweltoptimierungen bei Flugzeugen:

In Kürze

- Die Antwort der Aviatik, um die Umweltwirkung von Flugzeugen zu senken: Sustainable Aviation Fuels SAF.
- SAF erzeugen wesentlich geringere fossile CO₂- und Nicht- CO₂-Emissionen.
- Nicht-CO₂-Emissionen steigen und sinken nicht im Verhältnis zu den CO₂-Emissionen. Sollen die Nicht-CO₂-Emissionen gesenkt werden, ist es deshalb falsch, diese als Vielfache von CO₂-Emissionen darzustellen.
- Das Problem: Noch gibt es zu wenig SAF. Und sie sind teuer.
- Gasturbinen mit Verbrennung von kerosinähnlichen Treibstoffen bleiben bei Flugzeugen in den nächsten Jahrzehnten die wichtigste Antriebsform.

Im Detail

Ein ideales Flugzeug sollte ressourcenschonend sein, das Klima nicht negativ beeinflussen, die lokale Luftqualität nicht belasten und keinen Lärm erzeugen. Die grosse Herausforderung der Luftfahrtbehörde – so das BAZL: Umweltanforderungen für Luftfahrzeuge so auswählen und gewichten, dass die Umweltwirkung insgesamt reduziert wird, ohne die negative Wirkung zu verschlimmern oder die Sicherheit der Luftfahrt zu gefährden.

Konkret sind folgende Widersprüche gegeneinander abzuwägen:

- Treibstoffverbrauch reduzieren und weniger CO₂ ausstossen gegen einen höheren Ausstoss von Nicht-CO₂-Emissionen wie Stickoxide;
- CO₂-Ausstoss gegen Verhinderung nächtlicher Kondensstreifen;
- CO₂-Ausstoss gegen Lärm;
- für bestehende Triebwerke müssen bei der nachträglichen Optimierung allenfalls Stickoxid-Emissionen gegen Feinstaubemissionen.

Und es gibt Lösungen. Etwa zur Herausforderung, dass die Reduktion von Nicht-CO₂-Emissionen die Reduktion des CO₂-Ausstosses behindert. Der vermehrte Einsatz von nachhaltigen Flugtreibstoffen (Sustainable Aviation Fuels SAF) entschärft in Zukunft dieses Problem. SAF erzeugen am Flugzeug wesentlich geringere fossile CO₂-Emissionen. Will heissen: Für die Reduktion von Stickoxiden muss zwar etwas Treibstoff geopfert werden; durch den Einsatz von SAF nehmen die fossilen CO₂-Emissionen aber trotzdem ab. Das ist die Musik der Zukunft. Denn: Noch sind zu wenige SAF verfügbar. Der zusätzliche Einsatz von SAF,

um den Mehrverbrauch zu kompensieren, ist deshalb kurz- bis mittelfristig teuer.

Alternative Antriebskonzepte

Die Expert/-innen weltweit sind sich einig, dass es für Flüge, die den Grossteil der heutigen Emissionen verursachen, in den nächsten Jahrzehnten keine nennenswerten Alternativen zum heutigen Antriebskonzept geben wird. **Gasturbinen** mit Verbrennung von kerosinähnlichen Treibstoffen werden die wichtigste Antriebsform bleiben.

Elektrische Flugzeuge mit Batterien werden auf längere Sicht eine Nischenanwendung bleiben. Sie werden Flugzeuge ersetzen, die heute global weniger als 1% der Luftfahrtmissionen ausmachen. **Wasserstoff-Flugzeuge** (elektrisch und mit Gasturbinen) könnten einen Teil der heutigen Flotte ersetzen. Bis solche Flugzeuge einsatzfähig sind, die Infrastrukturen an Flughäfen bestehen, wird es noch Jahrzehnte dauern. Die Details zu dieser Einschätzung finden sich im [Postulatsbericht «CO2-neutrales Fliegen bis 2050»](#).

Bei einer ganzheitlichen Betrachtung der Umweltwirkung – die Stichworte dazu: graue Emissionen und Energie – sind elektrische Flugzeuge und Wasserstoffflugzeuge gegenüber Flugzeugen mit Gasturbinen und nachhaltigem Flugtreibstoff nicht unbedingt im Vorteil. Erklärungen dazu liefert ein Dokument des BAZL, welches zu Handen der Europäischen Zivilluftfahrt Konferenz ECAC und der ICAO verfasst wurde: [The big picture of emissions accounting for future aircraft propulsion systems](#).

Regulatorische Rahmenbedingungen

Die Luftfahrt braucht globale Standards, um funktionieren zu können. In der [Internationalen Zivilluftfahrtorganisation \(ICAO\)](#) entwickeln Expertengruppen der rund 200 Vertragsstaaten die Standards. Die Umsetzung erfolgt national. Die Basis für Umweltoptimierungen und Massnahmen ist die korrekte Bestimmung von Triebwerksemissionen – oder bei Lärm von Lärmemissionen.

Eine Knacknuss sind die **Nicht-CO₂-Emissionen** und ihre Klimawirkung. Der Grund: Diese Emissionen steigen und sinken nicht im Verhältnis zu den CO₂-Emissionen. Falsch ist, Nicht-CO₂-Emissionen als Vielfache von CO₂-Emissionen darzustellen und so Massnahmen festzulegen. Regulatorische Rahmenbedingungen und die Deklaration von Emissionen von Flugzeugen müssen dies berücksichtigen.

Entscheid für technische Massnahmen stellt langfristige Weichen

Neue technischen Massnahmen festzulegen, setzt eine ganzheitliche Umweltbetrachtung voraus. Sind die Weichen einmal in eine bestimmte Richtung gestellt, sind die Konsequenzen langfristig. Die Begründung: Die Entwicklungszeit von Flugzeugen und deren Antrieben dauert lange und mindestens 10 Jahre; ein Flugzeug lebt lange und wird durchschnittlich 30 Jahre alt.

Beispiel: Weniger Stickoxide dank neuer Triebwerke

Es gibt sie: Triebwerke, welche den Treibstoff effizient in Schub umsetzen und dadurch weniger klimawirksames CO₂ ausstossen. Dabei steigen aus physikalisch-chemischen Gründen meist die Stickoxid-Emissionen (NO_x). Stickoxide stammen aus der Reaktion der Hauptbestandteile der Luft (Stickstoff und Sauerstoff). Sie entstehen bei hohen Verbrennungstemperaturen – gerade dann, wenn der Treibstoff hocheffizient und rückstandsfrei verbrannt wird. Das BAZL macht sich für die Verschärfung von NO_x-Grenzwerten stark. Die Schweiz war bei der Einführung von NO_x-Emissionsgebühren an Flughäfen Pionierin. Diese Gebühren üben einen zusätzlichen Druck auf die Entwicklung von komplexen Verbrennungstechnologien zur Reduktion von NO_x aus. Die Triebwerkshersteller haben es bis vor einigen Jahren geschafft, ihre Triebwerke mit NOx-Emissionen deutlich unter den aktuellen und global massgebenden ICAO-Grenzwerten zu produzieren. Mit der aktuellen Klimapolitik wurde der Druck auf die weitere CO₂-Reduktion so gross, dass die Triebwerkshersteller die aktuellen NOx-Grenzwerte

fast vollständig ausschöpfen mussten. Nur so gelang es, die CO₂-Effizienz weiter zu steigern. Weil die Reduktion des Treibstoffverbrauchs wegen der Marktbedingungen höher gewichtet wurde, haben NOx-Emissionen deutlich zugenommen. Um diesen Trend zu brechen, ist bei Neukonstruktionen in Zukunft etwas Treibstoff für NOx-Reduktion zu opfern. Dies liegt im Widerspruch zur weiteren Effizienzsteigerung und der Reduktion von CO₂. Dem Widerspruch kann nur mit Hilfe von nachhaltigen Flugtreibstoffen (SAF) begegnet werden. Ob die heutigen NOx-Emissionen das Klima zukünftig erwärmen oder nicht, dazu kann die Wissenschaft keine robuste Aussage machen. Das BAZL verfolgt die Strategie, dass die NOx-Emissionen bei neuen Typen von Flugzeugtriebwerken zumindest nicht zunehmen sollten. Das BAZL hat sich in den letzten Jahren in der ICAO für die Verbesserung der NOx-Grenzwertsetzung für flughafenbezogene NOx-Emissionen und für die Entwicklung einer Begrenzung von Reiseflug-NOx-Emissionen engagiert.

Beispiel: Vergrösserung der Propeller (Open-Fan-Konzept)

Ein anderer Versuch der Industrie, CO₂ zu reduzieren, ist das Open-Fan-Konzept. Vereinfacht gesagt: Der Durchmesser der Fan-Schaufeln (Propeller) eines Triebwerks wird massiv vergrössert. Grosse Propeller sind bei der Schuberzeugung effizienter, als kleinere, solange man nicht zu schnell fliegen will. Die Technologie dazu ist kompliziert; und erfordert ein starkes Getriebe. Eine Verbrauchsreduktion von 20% gegenüber heute scheint realisierbar. Allerdings schneiden grosse Propeller im Lärm ungünstiger ab. Der Grund: Sie erzeugen tiefere Frequenzen – sie brummen tiefer – als die heutigen Jet-Triebwerke. Die grossen Propellerblätter können wegen des Gewichts und des Widerstands kaum mit einer Ummantelung abgeschirmt werden. Die Atmosphäre dämpft tiefe Frequenzen wenig gut. Sie können Gebäude relativ leicht durchdringen. Sogar Flüge auf grossen Flughöhen könnten eine störende Wirkung haben. Das BAZL stellt hier sehr hohe Anforderungen an den Lärmschutz. Der Zielkonflikt: Verschärfungen des Grenzwerts für Schallausbreitung von Flugzeugen und die Begrenzung des Treibstoffverbrauchs.



CFM RISE Program. Quelle: Safran-group.com

Beispiel: Besser Steigen und weniger Lärm dank neuem Flügel (A380)

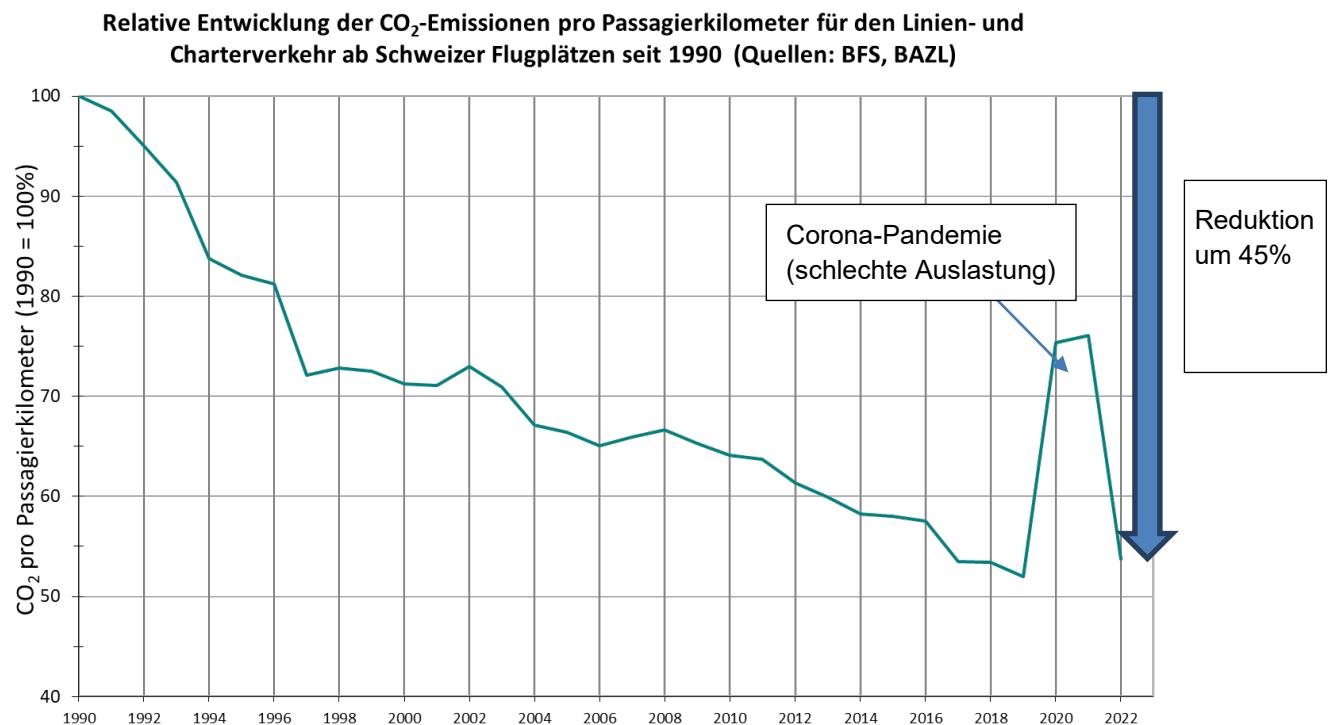
Personen, die einen Start oder eine Landung des Grossraumflugzeuges Airbus A380 erleben, berichten von einem erstaunlich geringen Schallpegel dieses Riesenflugzeuges. Tatsache ist: Der A380 erhielt im Laufe seiner Entwicklung einen neuen Flügel. Damit kann er beim Start besser Steigen, was am Boden den Lärm reduziert. Spezielle Verkleidungen an den Fahrwerken reduzieren den Lärm beim Landen zusätzlich. Diese Massnahmen beeinflussen die Aerodynamik (Luftwiderstand) und das Gewicht des Flugzeugs negativ. Sie führen nach Schätzungen des BAZL zu einem Mehrverbrauch an Treibstoff von rund sieben

Tonnen Kerosin pro Langstreckenflug. Fazit: Beim A380 wurde der Lärmschutz bewusst höher gewichtet als ein möglichst tiefer CO₂-Ausstoss.

Flottenerneuerung

Die Erneuerung des Flugmaterials – d.h. neue Flugzeuge oder die Nachrüstung bestehender Flugzeuge zum Beispiel durch sogenannte Sharklets oder Winglets – kann die Umweltwirkung erheblich beeinflussen. Erfolg verspricht auch die Beklebung von Rumpfteilen der Langstreckenflugzeuge mit speziellen Folien, welche eine haifischartige Feinstruktur aufweisen (Shark Skin).

Der Knick nach unten von 2016 nach 2017 in untenstehender Abbildung kann mit der Flottenerneuerung bei SWISS in Verbindung gebracht werden. Die neuen Kurzstreckenflugzeuge des Typs Airbus A220 verbrauchen auf den gleichen Strecken – trotz 28 Prozent mehr Sitzplätzen – bis zu 25 Prozent weniger Treibstoff pro Flug als das Vorgängermodell Avro RJ 100. Der Ausreißer in den Jahren 2020/2021 entstand durch die schlechte Auslastung während der Corona-Pandemie. Ab dem Jahr 2022/2023 wurde wieder das vorgängige Effizienzniveau erreicht.



In absoluten Zahlen liegt der Mittelwert der CO₂-Emissionen pro Passagierkilometer für internationale Flüge ab der Schweiz heute bei deutlich unter 100 Gramm CO₂ pro Passagierkilometer. Der durchschnittliche Verbrauch aller Flüge 2023 betrug beispielsweise bei der SWISS-Flotte 3.11 Liter pro 100 Passagierkilometer. Dies entspricht rund 80 Gramm CO₂ pro Passagierkilometer.

Die Quelle: Das BAZL verifiziert die Verbrauchsangaben via Verkehrsstatistik und Aufzeichnungen des Treibstoffverbrauchs in Flugdatenschreibern der Schweizer Linienflugzeuge.

Weiterführende Informationen

[The big picture of emissions accounting for future aircraft propulsion systems](#)