



Umweltoptimierungen bei Flugzeugen gleichen der Quadratur des Kreises

Das Abwägen von technischen Massnahmen

Ein ideales Flugzeug sollte möglichst ressourcenschonend sein, keinen negativen Einfluss auf das Erdklima haben, keine lokalen Luftbelastungen erzeugen und möglichst nicht hörbar sein.

Widersprüche bei technischen Optimierungen

Eine besondere Schwierigkeit, welche eine Luftfahrtbehörde wie das BAZL bei der Mitgestaltung und Verschärfung von Umweltaforderungen für Luftfahrzeuge hat, liegt in der richtigen Auswahl und Gewichtung der Bereiche, in welchen negative Umwelteinwirkungen reduziert werden können. Leider ist es so, dass eine Verbesserung an einer Stelle zu einer Verschlechterung an anderer Stelle führen kann. Die Grenzen sind spätestens dort erreicht, wo die Betriebssicherheit eines Flugzeugs beeinträchtigt wird. Konkret müssen zum Beispiel folgende Widersprüche gegeneinander abgewogen werden: Reduktion des Treibstoffverbrauchs und damit weniger CO₂-Ausstoss gegen einen höheren Ausstoss von Stickoxiden, CO₂-Ausstoss gegen Kondensstreifen und CO₂-Ausstoss gegen Lärm, und je nachdem Stickoxidemissionen gegen Feinstaubemissionen.

Entscheid für technische Massnahmen stellt die Weichen auf lange Zeit

Sind die Weichen einmal in eine bestimmte Richtung gestellt, so sind die Konsequenzen langfristig, einerseits wegen der sehr langen Entwicklungszeit von Flugzeugen und deren Antrieben (mindestens 6 bis 10 Jahre) und den aufwändigen Nachweisen für die Betriebssicherheit, andererseits auch wegen der langen Lebensdauer von Flugzeugen (30 Jahre). Die Gewichtung von technischen Massnahmen muss deshalb äusserst vorsichtig geschehen.

Beispiele

Die ersten beiden Beispiele für die geschilderte Problematik stammen aus der Erforschung von Klimawirkungen und der Erkenntnis, dass sich CO₂- und nicht-CO₂-bedingte Klimawirkungen oft nicht gleichzeitig reduzieren lassen.

Das erste Beispiel handelt von Kondensstreifen. Nach heutigem Wissensstand haben Kondensstreifen insgesamt eher eine erwärmende Wirkung. Auf den ersten Blick scheint es deshalb vernünftig, die Bildung von Kondensstreifen möglichst zu verhindern. Es hat sich jedoch gezeigt, dass sparsamere Triebwerke, die weniger klimawirksames CO₂ ausstossen, aber kühlere Abgase aufweisen, tendenziell mehr Kondensstreifen bilden. Tendenziell führt deshalb der Einsatz von immer sparsameren Flugzeugen zu mehr Kondensstreifen.

Das Bild unten zeigt die Aufnahme aus dem Cockpit eines Forschungsflugzeugs. Links ist eine rot-

weiss markierte Sonde für Abgasmessungen zu sehen. Vorne fliegen zwei Langstreckenflugzeuge nebeneinander. Das Flugzeug vorne rechts ist ein veraltetes Muster mit höherem CO₂-Ausstoss zu sehen, welches in der vorherrschenden Luft am Messtag keine Kondensstreifen gebildet hat. Links



Quelle: DLR

daneben fliegt ein zeitgemässes Flugzeugmuster, dessen sauberere und kühlere Abgase aus den sparsameren Triebwerken in derselben Luft Kondensstreifen erzeugen. Der Zielkonflikt: CO₂-Emissionen (egal aus welcher Quelle und wo sie ausgestossen werden) haben in der Atmosphäre eine sehr lange Lebensdauer, während derer sie zum Treibhauseffekt beitragen. Das Meiste dieser Emissionen von heute wird in 100 Jahren immer noch in der Atmosphäre vorhanden sein. Kondensstreifen hingegen sind sehr örtlich bedingt und vergleichsweise sehr kurzlebig. Es wäre im Prinzip möglich, technische Einrichtungen zu entwickeln, um wetterabhängig die Flughöhen anzupassen, beispielsweise um feuchtere und sehr kalte Luftschichten zu meiden und so auch mit sehr effizienten Triebwerken die Kondensstreifenbildung einzudämmen. Hingegen haben Flugzeuge für jede Phase ihres Fluges eine optimale Flughöhe bezüglich Treibstoffeffizienz (das Flugzeug wird während des Fluges leichter und seine Flughöhe wird während des Fluges stufenweise erhöht). Wird diese optimale Flughöhe verlassen, um eine für die Kondensstreifenbildung günstige Wetterschicht zu meiden, so steigt der Treibstoffverbrauch deutlich an, was direkt zu mehr CO₂-Emissionen führt. Es ist zum heutigen Zeitpunkt nicht bewertbar, ob es Sinn macht, einen höheren Treibstoffverbrauch und damit einen höheren CO₂-Ausstoss in Kauf zu nehmen, um damit die Bildung von Kondensstreifen zu reduzieren.

Würde die Reiseflughöhe zur Vermeidung der Bildung von Kondensstreifen zudem nach unten korrigiert, würde auch die Flugzeit zunehmen, weil das Flugzeug auf diesen Höhen nicht mehr mit der gleichen Geschwindigkeit fliegen kann. Zusätzlich könnte der Passagierkomfort leiden, da das Flugzeug eher in den wetteraktiven Luftschichten fliegen würde und dadurch mehr Erschütterungen ausgesetzt wäre.

Das zweite Beispiel betrifft die Entwicklung von Triebwerken, welche den Treibstoff effizienter 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) bei hohen Verbrennungstemperaturen, eben gerade besonders dann, wenn der Treibstoff hocheffizient, absolut sauber und rückstandsfrei verbrannt wird. Trotz Zielkonflikt mit CO₂ hat sich das BAZL primär aus lufthygienischer Sicht bereits in der Vergangenheit für die Verschärfung von NO_x-Grenzwerten stark gemacht, um Gegensteuer zu geben. Die Schweiz war Pionierin beispielsweise bei der Einführung von NO_x-Emissionsgebühren an Flughäfen, welche bis heute einen zusätzlichen Druck auf die Entwicklung von komplexen Verbrennungstechnologien zur Reduktion von NO_x ausgeübt haben. Die Triebwerkhersteller haben es bis vor einigen Jahren geschafft, ihre Triebwerke mit NO_x-Emissionen deutlich unter den neusten Grenzwerten (2016) zu produzieren. In Zusammenhang mit Klimapolitik ist nun der Druck auf die weitere CO₂-Reduktion in den letzten Jahren so gross geworden, dass die Triebwerkhersteller die NO_x-Grenzwerte

fast vollständig ausschöpfen mussten, um die CO₂-Effizienz weiter zu steigern. NO_x bzw. NO₂ sollen aus gesundheitlicher aber auch aus klimatischer Sicht trotzdem reduziert werden. Wie beim Thema Kondensstreifen ist es zum heutigen Zeitpunkt aber auch hier nicht klar, ob es Sinn macht, CO₂ – Reduktion zu behindern, um beispielsweise im Reiseflug weniger NO_x auszustossen.

Die beiden Beispiele «Kondensstreifen» und «NO_x», welche Gegenspieler zum CO₂ sind, machen im Übrigen deutlich, wie problematisch es ist, zusätzliche Klimawirkungen des Luftverkehrs als Multiplikator von CO₂ zu bewerten. Was wirklich mit Langzeitwirkung sicher und robust beurteilt und bewertet werden kann, ist die Reduktion von fossilem CO₂. Deshalb steht diese im Fokus.¹

Ein anderer Versuch der Industrie, CO₂ zu reduzieren, ist das Open-Rotor-Konzept. Vereinfacht gesagt geht es darum, dass die Antriebspropeller (Rotoren) mittels Untersetzungsgetriebe aussen am Triebwerk angebracht werden und nicht wie heute die Turbinenschaufeln (Fans) innerhalb der Ummantelung. Grosse Propeller sind vom Vortrieb her effizienter, als kleinere Fan-Schaufeln. Eine Verbrauchsreduktion von 20 % gegenüber heute scheint realisierbar, allerdings schneiden so grosse Propeller lärmässig ungünstiger ab, weil sie tiefere Frequenzen produzieren als die heutigen Jet-Triebwerke. Sie sind nicht unbedingt lauter, aber sie brummen tief. Die grossen Propellerblätter können ferner aus konstruktiven Gründen bzw. Gewichts- und Widerstandsgründen kaum mit einer Ummantelung abgeschirmt werden. In der Atmosphäre werden tiefe Frequenzen wenig gedämpft und sie können Gebäude relativ leicht durchdringen. Sogar grosse Flughöhen können eine störende Wirkung haben. Eine Behörde wie das BAZL stellt hier sehr hohe Anforderungen an den Lärmschutz und es ist zurzeit unklar, ob das Open-Rotor-Konzept vor diesem Hintergrund umgesetzt werden kann, obwohl es für die CO₂-Effizienz günstig wäre.



Snecma Open Rotor, © Snecma

Das dritte Beispiel zeigt die Schwierigkeit, Lärm und CO₂ gleichzeitig weiter zu reduzieren. Personen, die einen Start oder eine Landung des Grossraumflugzeuges Airbus A380 erleben, berichten von einem vergleichsweise erstaunlich geringen Schallpegel. Tatsächlich hat der A380 im Laufe seiner Entwicklungsgeschichte einen neuen Flügel bekommen, um beim Start besseres Steigen zu erzielen, was am Boden den Lärm reduziert. Spezielle Verkleidungen an den Fahrwerken reduzieren den Lärm vor allem beim Landen zusätzlich. Solche Massnahmen, welche Aerodynamik (Luftwiderstand) und Gewicht des Flugzeugs negativ beeinflusst haben, führen aber nach Schätzungen des BAZL zu einem Mehrverbrauch an Treibstoff von rund 7 Tonnen Kerosin pro Langstreckenflug und damit zu einem zusätzlichen CO₂-Ausstoss. Bei diesem grossen Flugzeug wurde Lärmschutz bewusst höher gewichtet als möglichst tiefer CO₂-Ausstoss.

¹ [The current state of scientific understanding of the non-CO₂ effects of aviation on climate](#), David S. Lee, Manchester Metropolitan University, December 2018