



# AUF DEM WEG ZU EINER EMISSIONSFREIEN LUFTFAHRT | EXECUTIVE SUMMARY

Luftfahrtstrategie des DLR zum European Green Deal

# Zusammenfassung

Flugzeug und Luftverkehr als Gesamtsystem stehen im Mittelpunkt der Luftfahrtforschung. **Das DLR betrachtet alle Technologien ergebnisoffen und bewertet und integriert sie im Gesamtsystem.** Es sieht sich so als Architekt und Integrator in der Luftfahrtforschung. Auf unsere Vision einer emissionsfreien Luftfahrt arbeiten wir gemeinsam mit unseren internationalen Partnern aus Forschung, Industrie und Wirtschaft hin.

## Vision: eine emissionsfreie Luftfahrt

Die Forschung des DLR bereitet den Weg in die Zukunft der Luftfahrt und gestaltet ihre Transformation im Sinne des klimaneutralen Fliegens mit.

## Mission: das DLR als virtueller Hersteller

Wir entwickeln hochintegrierte Technologien und Methoden, Prozesse und Lösungen für eine klimaneutrale Luftfahrt. Damit leisten wir unseren Beitrag zum Green Deal in der Luftfahrt. Forschung und Entwicklung erfolgen in den Bereichen neuer Flugzeugkonzepte und Komponenten sowie alternativer Antriebslösungen mit einem Fokus auf der Nutzung nachhaltiger Luftfahrt-Brennstoffe (SAF) inklusive neuer Energieträger (z. B. Wasserstoff) bis hin zu klimaoptimierten Flugrouten. Dabei agieren wir als virtueller Flugzeughersteller (Virtual OEM).

## Emissionsarme Luftfahrtantriebe

**Turboantriebe mit nachhaltigen Luftfahrt-Brennstoffen**  
Auf den Kurz- bis Langstrecken ermöglichen hoch effiziente Turbofan-Triebwerke gemeinsam mit regenerativ erzeugtem Kerosin einen weitgehend klimaneutralen Betrieb. Möglich ist das für die gesamte bestehende Flotte mit nur minimalen technischen Modifikationen der Triebwerke und der vorhandenen Infrastruktur.

## Wasserstoff als Energieträger

Wasserstoff kann die lokalen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Luftverkehr auf null reduzieren. Für alle Wasserstoff-Antriebe stellen die Sicherheit, das Volumen sowie Gewicht und Integration eine besondere Herausforderung dar. Das erfordert eine intensive Erforschung von H<sub>2</sub>-Tankssystemen inklusive der Systemarchitektur sowie neuartiger Flugzeugkonzepte, die vorwiegend mit dem Volumeneinfluss umgehen müssen. Mittelfristig ist der Einsatz von Wasserstoff besonders für Flugzeuge im Regional- und Kurz-Streckenbereich geeignet. Die Erforschung einer sicheren und zuverlässigen Wasserstoff-Verbrennung und des Umgangs mit dem Energieträger soll in den nächsten fünf Jahren die kommerzielle Anwendbarkeit in Flugzeugen bis hin zur Demonstration vorbereiten.

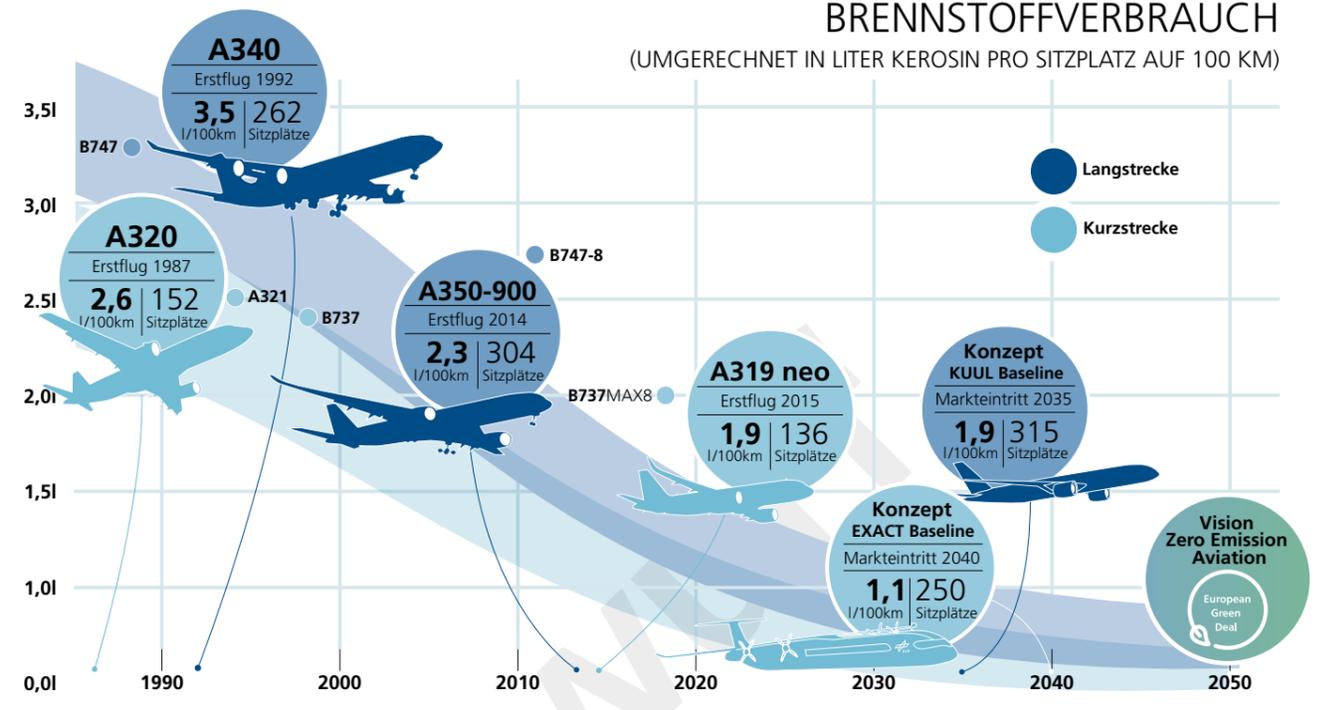
## Elektrische Antriebe mit Wasserstoff oder Batterien als Energieträger

Trotz ihrer sehr hohen Wirkungsgrade sind sowohl Batterien als auch Brennstoffzellen auf absehbare Zeit nur für Kleinflugzeuge und Regionalflugzeuge geeignet. Notwendig ist die Erforschung von Hochleistungs-Elektromotoren, Batterien und Brennstoffzellen. Dann kann in den nächsten fünf Jahren über eine mittelfristige Anwendung in Verkehrsflugzeugen entschieden werden.

## Energieeffizientes Flugzeug

**Der Energiebedarf kommender Flugzeuge muss bis zum Jahr 2050 mindestens um die Hälfte reduziert werden.** Ein geringerer Energiebedarf des Flugzeugs wirkt sich direkt in einem geringeren Verbrauch der Antriebssysteme aus, reduziert Restemissionen und kompensiert die höheren Kosten künftiger Energieträger. Dafür notwendig sind Technologien zur Reduktion des aerodynamischen Widerstands und des Gesamtgewichts gemeinsam mit innovativer Flugregelung und Sensorik. Um diese Technologien optimal integrieren zu können, müssen sie in der Auslegung neuer Flugzeugkonfigurationen bereits ganz zu Beginn in der Entwurfsphase berücksichtigt werden.

## BRENNSTOFFVERBRAUCH (UMGERECHNET IN LITER KEROSIN PRO SITZPLATZ AUF 100 KM)



In den vergangenen Jahrzehnten sind die Emissionen der Luftfahrt pro Passagier und 100 Kilometer kontinuierlich gesunken. Weiteres Potential zur Emissionsreduktion versprechen neue Flugzeugkonzepte wie sie in den DLR-Projekten EXACT (Exploration of Electric Aircraft Concepts and Technologies) und KuUL (Klimafreundlicher ultra-effizienter Langstreckenflug) entwickelt werden. Die Vision des DLR ist eine emissionsfreie Luftfahrt.

## Lufttransportsystem

### Gesamtsystembewertung

Die Bewertung des Lufttransportsystems umfasst alle Aspekte des Betriebes und seiner Auswirkungen. Mit den Ergebnissen soll die Wirkung eingeschätzt und eine Neugestaltung ermöglicht werden. Dafür ist in den kommenden fünf Jahren der Aufbau einer umfassenden und detaillierten Bewertungs- und Simulations-Plattform für das gesamte Lufttransportsystem vorgesehen, um das DLR als Architekt, Integrator und Berater weiter zu stärken.

### Klimawirkung und Flugrouten

Großes Potential, die Klimawirkung des Flugverkehrs zu senken, bietet die Reduktion der Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte – insbesondere durch geeignete Flugrouten auf der Lang- und Mittelstrecke. Um in den nächsten fünf Jahren die kommerzielle Umsetzbarkeit und Wirksamkeit von klimaoptimierten

Flugrouten nachzuweisen, bedarf es politischer Rahmenbedingungen und der Einführung technischer Neuerungen. Dazu gehören zunehmende Automatisierung und Standardisierung im Flugzeug, im Luftverkehrsmanagement und in der Flugführung.

## Digitalisierung

**Die Digitalisierung als Katalysator beschleunigt den Weg zur klimaneutralen Luftfahrt.** Sowohl digitale Werkzeuge und Methoden als auch Entscheidungsprozesse, die durch Einsatz künstlicher Intelligenz unterstützt werden, tragen dazu bei, neue Konzepte und Technologien für den nachhaltigen Lufttransport in größeren und kreativeren Entwurfsräumen zu erforschen. Zugleich fördert die höhere Vorhersagbarkeit der Ergebnisse die beschleunigte Übertragbarkeit von Forschungsergebnissen in die Anwendung.

## EMISSIONSARME LUFTFAHRTANTRIEBE

Effizientere Antriebe senken den Verbrauch zunächst knapper und teurer nachhaltiger Brennstoffe und die Emissionen. Das Ziel emissionsarmer Antriebstechnologien ist es, Luftfahrtantriebe bis zum Jahr 2050 für nochmals ca. 25 % geringeren Energieverbrauch und für die Nutzung von nachhaltigen Energieträgern zu entwickeln. Bei alternativen Antrieben stellen die Entwicklung der Systemarchitektur, die notwendige Steigerung der Leistung und Leistungsdichte sowie die Flugzeugintegration besondere Herausforderungen dar.



## ENERGIEEFFIZIENTES FLUGZEUG

Ziel des energieeffizienten Flugzeugs ist die Reduktion des Energiebedarfs bis 2050 um bis zu 50 %. Dies kann nach aktuellen Erkenntnissen über eine Reduktion des aerodynamischen Nullwiderstands um 40 %, eine Reduktion des Gesamtgewichts um 10 % und eine Steigerung der Flügelstreckung auf bis zu 15 erreicht werden. Eine besondere Herausforderung stellt dabei die Verknüpfung aller Einzeltechnologien im Flugzeugentwurf dar.



## EMISSIONSREDUZIERTES LUFTTRANSPORTSYSTEM

Klimawirkungsoptimierte Flugtrajektorien versprechen insbesondere auf der Mittel- und Langstrecke eine deutliche Reduktion des Anteils der Luftfahrt an der Klimaerwärmung (CO<sub>2</sub>- und Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte). Ein leistungsfähiges und emissionsreduziertes Lufttransportsystem integriert neuartige Flugzeugkonfigurationen und kann durch klimaoptimierte Routenführung mehr als 30 % der Klimawirkung über die Minimierung der Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte reduzieren. Neben politischen Rahmenbedingungen und der Einführung technischer Neuerungen bedarf es hierzu einer erhöhten Automatisierung und Standardisierung im Flugzeug, im Luftverkehrsmanagement und in der Flugführung.



## DIGITALISIERUNG

Durch Virtualisierung der Entwicklung und der Zulassung kann die Innovationsgeschwindigkeit um den Faktor zwei beschleunigt und eine schnellere Marktverfügbarkeit neuer Technologien ermöglicht werden. Die durchgängige Digitalisierung von Entwurf, Produktion und Betrieb ermöglicht die signifikante Reduzierung von Entwicklungskosten und -risiken sowie die Optimierung des Gesamtsystems Luftfahrt bezüglich seiner Klimawirkung und Wirtschaftlichkeit.



### Impressum

Herausgeber: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)  
Programmstrategie Luftfahrt | Linder Höhe, 51147 Köln | E-Mail: info-dlr@dlr.de  
[DLR.de/luftfahrtstrategie](https://www.dlr.de/luftfahrtstrategie)

Bilder: DLR (CC BY-NC-ND 3.0), soweit nicht anders angegeben.  
Titelbild: DLR/L. Winkler



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages