

Strategische Entwicklung des Systems Luftfahrt

**Horst Hasenhütl, Daniel Gschwind und
Michael Ableidinger**

Nr. 11/2022

Darum geht's

Die Luftfahrt ist weltweit eine Branche von strategisch eminenter Bedeutung. Sie verbindet Wirtschaftszentren, Städte und Kontinente, ist Motor der Weltwirtschaft und zeichnet sich durch hohe Forschungsintensität aus.

Der Luftverkehr der Zukunft wird bis zum Jahr 2050 weitestgehend umwelt- und gesundheitsschonend stattfinden. Er wird mit leiseren, emissionsarmen und ressourcenschonenden Luftfahrzeugen durchgeführt werden, muss aber gleichzeitig den Mobilitätsbedürfnissen der Menschen genügen. Diesbezüglich sind immense Anstrengungen in der gesamten Wertschöpfungskette der Luftfahrtindustrie zu erbringen.

In diesem Artikel werden zukünftige flugbetriebliche-, technische- und infrastrukturelle Aspekte des Systems Luftfahrt im Überblick beleuchtet.

Die Faktenlage

Ungeachtet der noch herrschenden Pandemie, des Krieges in der Ukraine und anderer Konfliktherde (z.B.: Äthiopien, Belarus, Taiwan, Libyen, Jemen, Syrien u.a.) entwickelt sich die Luftfahrt in Riesenschritten.

Statistische Prognosen gehen von einer Steigerung des weltweiten Luftverkehrs (Passagiere und Fracht) von 3,7 Prozent jährlich aus, schwächer in Europa, stärker

dagegen in Asien und Lateinamerika. So erwartet man im Jahr 2030 weltweit 7,1 Milliarden und im Jahr 2040 bis zu 9,4 Milliarden Passagiere. Sollten die prognostizierten Werte ab 2030 eintreten, wird die Bewirtschaftung in den verkehrsreichen Lufträumen an Grenzen stoßen und als Folge sogar Flüge aus Staffelungsgründen (Sicherheitsmindestabstände zwischen den einzelnen Luftfahrzeugen) nicht mehr zugelassen werden.

Wachstum wird für die Entwicklung von Netzwerken und Wertschöpfungsketten als wichtig erkannt. Darüber hinaus entstehen Effekte für alle Akteure der Luftfahrt, so auch für Zulieferbetriebe und weitere Branchen wie beispielsweise für den Tourismus. Die Netzwerke haben einen großen Einfluss auf die Profitabilität und Entwicklungsmöglichkeit von Akteuren der Luftfahrtbranche, indem beispielsweise Mittel in effizientere, ökologischere Flugzeuge investiert werden. Die Unternehmen schaffen somit ökonomischen Nutzen und Arbeitsplätze in ihrer Wertschöpfungskette weit über das eigentliche Kerngeschäft des Netzwerks hinaus.

Der forschungsintensive Luftfahrtsektor investiert im Durchschnitt rund 11 % seines Umsatzes in Forschung, Technologie und Innovation. Mit dieser Forschungsquote zählt die zivile Luftfahrt weltweit zu den forschungsintensivsten Branchen, knapp hinter der Pharmaindustrie.

Wie das statistische Amt der Europäischen Union Eurostat bekanntgibt, generiert die Luftverkehrswirtschaft mit 365 Milliarden Euro Wertschöpfung rund 2,4 % des Bruttoinlandsproduktes (BIP) in der Europäischen Union und steht damit für 5,1 Millionen Arbeitsplätze. Europäische Flughäfen beschäftigen 12,3 Millionen Menschen und erwirtschaften 675 Milliarden Euro Einnahmen jährlich. Das entspricht 4,1 % des europäischen BIP.

Mit Hinblick auf das 1,5 Grad Klima-Ziel der Europäischen Union und knapper werdenden fossilen Brennstoffen wird die Frage nach dem Flugzeugantrieb der Zukunft immer drängender. Jeden Tag verbrennen die rund 35.000 Flugzeuge (exklusive kleinere Flugzeuge und Helikopter) etwa eine Milliarde Liter Kerosin.

Der Luftverkehr soll daher mit Hilfe von technischen Entwicklungen bis zum Jahr 2050 weitestgehend umwelt- und gesundheitschonend umgestaltet werden.

Derzeitige Entwicklungen in der Luftfahrzeugtechnik

Der hier im Fokus stehende gewerbliche Linien- und Charterluftverkehr wurde in den letzten Dekaden fast ausschließlich mit kerosinbetriebenen Strahltriebwerken- Flugzeugen mit ca. 100 bis 500 Sitzplätzen abgewickelt. Aktuell zeichnen sich jedoch neue Antriebstechnologien ab, die in Zukunft deutlich an Bedeutung gewinnen werden.

So wird zum einen die Möglichkeit elektrischer Propellerantriebe für Flugzeuge erforscht. Aufgrund der geringeren Energiedichte derzeitiger Batteriespeicher gegenüber dem herkömmlichen Betriebsmittel Kerosin und der damit verbundenen Gewichtsproblematik von Luftfahrzeugen sind reine Elektroantriebe für den Mittel- und Langstreckenverkehr jedoch in absehbarer Zeit ungeeignet. Hybridantriebe, die eine Kombination von Wasserstoffspeicher, Brennstoffzelle und herkömmlicher Kraftstoffe verwenden, stehen für Lang-

streckenflugzeuge in Entwicklung und sind auch vielversprechend.

Die Elektrifizierung der Luftfahrt steht damit noch am Anfang, birgt aber ein großes Potenzial für den nachhaltigen Antrieb von Flugzeugen. Bis zum Jahr 2050 rechnen Experten diesbezüglich mit tiefgreifenden Veränderungen. Unter dem Motto „Noch leiser, noch verbrauchsärmer, noch leichter, noch komfortabler“ besteht eine sehr große Nachfrage nach neuen, innovativen Produkten.

Überfüllte Straßen, kilometerlange Staus und kollabierende Nahverkehrssysteme in Metropolen verlangen alternative Lösungsansätze. Sowohl etablierte Luftfahrtunternehmen als auch Start-ups aus aller Welt forschen daher an Fluggeräten, die den Nahverkehr von der Straße in die Luft verlagern. Elektrisch angetriebene „Lufttaxis“ könnten gleich zwei Probleme auf einmal lösen: Durch den Verzicht auf fossile Brennstoffe können Feinstaub- und CO₂-Emissionen erheblich gesenkt werden und durch die Verlagerung des Nahverkehrs in die Luft würden Straßen entlastet werden.

Was wie eine ferne Zukunftsvision klingt, ist schon heute technisch machbar. Bereits 2017 absolvierte Volocopter einen Erstflug und gilt als Wegbereiter für den elektrifizierten Individualverkehr in der Luft. Das Unternehmen Volocopter GmbH hat sich verpflichtet, bis Ende 2023 einen Flugtaxidienst in Singapur aufzubauen.

Andere Start-ups gehen einen ähnlichen Weg: Der elektrisch angetriebene Lilium Jet aus München soll 300 km eine Stunde lang fliegen können und kann senkrecht starten und landen. Bereits 2025 könnte das Lufttaxi als Fünfsitzer seinen Betrieb aufnehmen und Passagiere auf Gebäudedächern abholen.

Vorerst gilt es aber „Low hanging Fruits“ zu ernten. Der Ruf nach massiven Emissionsersparungen werden weltweit immer lauter. Durch Zusatz von Flugkraftstoffen, die ohne Verwendung von fossilen Energiequellen

hergestellt werden, kann der CO₂ Ausstoß je nach Mischungsverhältnis deutlich gesenkt werden. Fluggesellschaften haben aber auch massives Interesse an geringerem Treibstoffverbrauch. Treibstoffsparende Flugrouten und kontinuierliche Sinkflüge Richtung Zielflughäfen würden die Zielsetzung „emissionsärmer und ressourcenschonender Luftverkehr“ zeitnah unterstützen. Sowohl Luftfahrzeughersteller als auch Flugsicherungen sind hier gefordert.



Abb.: Präzisions-Anflüge/kontinuierliche Sinkflüge auf einen Flughafen, Quelle: Aviation-Net

Infrastrukturentwicklung der Zukunft

Unter Luftfahrtinfrastruktur sind die "statischen" Teile des Systems Luftfahrt zu verstehen: einerseits der Luftraum, welcher per se die Bewegung von Luftfahrzeugen ermöglicht, und andererseits die Flughäfen mit ihrer Plattformfunktion für die Interaktion zwischen dem Luftfahrzeug als Transportmedium und den zugehörigen Logistikströmen (Passagiere, Reisegepäck, Luftfracht/Luftpost, Unterhalt und Bereitstellung der Luftfahrzeuge). Funktional damit verknüpft sind auch die Unterstützungsservices wie die Flugsicherungs- und Flugwetterdienste sowie die Flughafen-Dienstleistungen, einschließlich der Bodenabfertigung.

Das Potenzial des Daten- und Informationsraumes für die optimierte Nutzung der Luftfahrtinfrastruktur dürfte in den nächsten zehn Jahren weiter Raum greifen. Allerdings ist der Schritt von „Unterstützung / Optimierung von bestehenden Prozessen“, bzw. „more of the same“, zur visionären Neu-Erfindung des Systems Luftfahrt enorm.

Der Luftraum ist jeweils Bestandteil des Hoheitsgebietes des darunterliegenden Staates. Die Staaten der Welt sind mehrheitlich übereingekommen, den hoheitlichen Luftraum für die zivile Luftfahrt, zum Teil unter festgelegten Bedingungen, nutzbar zu machen. Dies wird mit hohem Grad an Wahrscheinlichkeit auch in Zukunft so bleiben.

Heute wird der zivile Luftverkehr größtenteils auf vordefinierten Strecken geführt, was einerseits der Entflechtung von zivilen und militärischen Flügen dient und andererseits die Durchführung der Flugverkehrskontrolldienste ermöglicht. In Zukunft werden vermehrt „Free Route Airspaces“ zur Anwendung kommen, innerhalb derer idealerweise auf dem kürzesten Weg zwischen dem Einflugpunkt und dem Ausflugpunkt aus einem großen zusammenhängenden Luftraum geflogen wird. Dies führt zu Treibstoff- und Kosteneinsparungen sowie zur Reduktion von umweltschädigenden Einflüssen. Die Flugverkehrskontrolle, die für die Vermeidung von Zusammenstößen verantwortlich ist, benötigt dazu „intelligente“ Technik, welche die Lotsen/innen vermehrt unterstützt.

Dank intelligenter Systemunterstützung und einer weitgreifenden Abstimmung der Flugbewegungen können wir mit einer schrittweisen Optimierung der Nutzung von bestehenden Luftraum- und Pistenkapazitäten rechnen: eine Art „Einzelflugsteuerung“ legt wohl künftig den genauen Abflugzeitpunkt, die Reiseflughöhe und -geschwindigkeit sowie das Anflugverfahren jedes individuellen Fluges fest, stets ausgerichtet auf die optimale Nu



*Abb.: Flugverkehrskontrollzentrale Maastricht.
Quelle: freundliche Genehmigung EUROCONTROL.*

tzung der verfügbaren Ressourcen im Gesamtsystem. Dabei werden die meteorologischen Bedingungen als stark gewichtete Entscheidungskriterien für jede Flugphase einbezogen.

Die Flughäfen nehmen im System Luftfahrt gleich vier Rollen ein. Einerseits bilden sie als Knotenpunkte im Netz der Flugverbindungen die einzige Möglichkeit für Flächenflugzeuge, vom fliegenden in den bodengebundenen Zustand überzugehen und vice versa. Zweitens sind sie Logistikplattformen schlechthin, welche es ermöglichen, die zu befördernde Nutzlast ins Lufttransport-System aufzunehmen bzw. diese nach der Beförderung daraus zu entlassen und einem anderen Transportsystem zuzuführen. Flughäfen sind somit intermodale Verkehrsdrehscheiben und damit – drittens – Knotenpunkte in den Netzen der bodengebundenen Transportsysteme. Viertens bilden sie durch ihre Funktion als Betreiber von ortsfester Infrastruktur eine augenfällige Schnittstelle zwischen dem Flugbetrieb und der ansässigen Bevölkerung (im politischen und gesellschaftlichen Sinn).

Ihnen fällt damit eine außerordentliche Rolle in Bezug auf das Spannungsfeld Flugbetrieb versus Umweltschutz (Bereiche Lärm, Emission, Landverwendung, Natur- und Artenschutz etc.) zu.

Aufgrund der Gesetze der Flugphysik wird es weiterhin Flughäfen mit langen Start- / Landebahnen und großflächigen hindernisfreien Bereichen bedürfen. Zukünftig werden sie vollständig in den oben erwähnten übergreifenden Prozess der Einzelflugsteuerung integriert sein. Dabei sind konsequenterweise auch alle relevanten Prozesse der Logistikplattform aktiv mitzusteuern, um die Funktion des Netzknotens im System Luftverkehr punktgenau und berechenbar wahrnehmen zu können. Neben Abweichungen in den flughafeneigenen Prozessen sind die aktuellen und prognostizierten Wetterbedingungen aber auch relevante Störungen z.B. in den angrenzenden Transportsystemen (Schiene, Straße) zu erfassen, deren Auswirkungen in die

laufende Aktualisierung der Betriebsplanung einzuarbeiten und damit als Information ins Gesamtsystem einzubringen sind. Damit werden auch die Flughäfen ihren relevanten Beitrag zur Optimierung der Nutzung des Gesamtsystems leisten.

Eine Kapazitätssteigerung durch die Neuerrichtung von ganzen Flughäfen oder zusätzlichen Pisten dürfte, mindestens im europäischen Umfeld, sehr schwierig sein. Die Integration von neuen Transportmedien (kommerzielle Drohnenflüge/Lufttaxi-Verkehr) in die Flughafensysteme wird jedoch in naher Zukunft mit ziemlicher Sicherheit umzusetzen sein. Bezüglich Umweltverträglichkeit stehen die Flughäfen weiterhin in der Pflicht, die Anwendung von neuen Triebwerkstechnologien und die Nutzung von CO_v-neutralen Treibstoffen (z.B. SAF Sustainable Aviation Fuel) zu ermöglichen, aber auch den Energieeinsatz für die eigenen Prozesse zu minimieren bzw. in Richtung Nachhaltigkeit zu entwickeln.

Von besonderer Relevanz ist:

Das System Luftfahrt gesamtheitlich zu optimieren ist Inhalt des strategischen Verbesserungsprozesses. Innovative Lösungen bei der Optimierung flugbetrieblicher-, technischer und Flugsicherungsverfahren zu erarbeiten, um zum Beispiel den CO₂-Ausstoß und den Fluglärm zu reduzieren, haben Priorität. Die Entwicklung nachhaltiger Reise- und Transportmittel sowohl für die Kurz- und Mittelstrecke als auch für den kontinental-übergreifenden Luftverkehr sind Teil der kontinuierlichen Verbesserung des Systems Luftfahrt. Über das System Luftfahrt hinaus ist die Zusammenschau aller Transportsysteme (Schiene, Straße, Luft) in einem „Generalverkehrsplan EUROPA“ zu betrachten, um die optimalen Verbindungsmöglichkeiten von A nach B festzulegen.

So sehen wir das:

Der Luftverkehr sowohl für kontinentale- als auch interkontinentale Strecken ist unverzichtbar. Das wird er auch in Zukunft sein. Deshalb können wir sowohl nach der Coronavirus-Pandemie als auch nach Auflösung von kriegerischen Konflikten weltweit wieder ein stetiges Wachstum beim Luftverkehr erwarten. Vielfältige Innovationen in Triebwerkstechnologie, in Flugrouten, alternative Transportmittel etc. werden die Effizienz weiter steigern und damit die Transportleistung von den Emissionen entkoppeln. Zur Verringerung von CO₂ Emissionen in der Luftfahrt müssen Effizienzverbesserungen beim Design von Luftfahrzeugen, beim Antrieb, beim Luftverkehrsmanagement sowie durch die Beimischung von regenerativ erzeugtem Kraftstoff (SAF Sustainable Aviation Fuel) Platz greifen. Auf kurzen Strecken werden elektrische Antriebe und mittelfristig vielleicht sogar Wasserstoff alternativ eingesetzt werden. Wie bei allen Veränderungen wird es einer erheblichen Kraftanstrengung bedürfen, um die bisherigen durch neue technologiegetriebene Prozesse zu ersetzen.