

Wohin fliegt der Luftverkehr? Methodik zur Erstellung von globalen Luftverkehrsszenarien

Michael Hepting, Ralf Berghof, Dr. Peter Berster, Dr. Marc Gelhausen, Wolfgang Grimme

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. – Institut für Flughafenwesen und Luftverkehr

Michael.Hepting@dlr.de, Ralf.Berghof@dlr.de, Peter.Berster@dlr.de,
Marc.Gelhausen@dlr.de, Wolfgang.Grimme@dlr.de

Kurzfassung

Orientierungswissen über künftige Entwicklungen bildet eine wichtige Arbeitsgrundlage in der täglichen Arbeit von Luftfahrtexperten, z.B. in der Marktforschung oder zur Analyse von Umweltaspekten. Eine zentrale Frage dabei lautet: „Welche langfristigen Auswirkungen haben unterschiedliche sozioökonomische Rahmenentwicklungen auf den Luftverkehr?“ Im vorgestellten Beitrag werden die Methodik zur Erstellung von Szenarien zur globalen Luftverkehrsentwicklung beschrieben und erste Analyseergebnisse vorgestellt.

Der Ausgangspunkt für die Szenarienerstellung liegt in der Nutzung von globalen Gesamtentwicklungsszenarien, den so genannten Shared Socioeconomic Pathways, die für die Analyse von globalen Umweltfragen, insbesondere zur Nutzung durch das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), erarbeitet wurden [O'Neill et al. 2015]. Für die auf Globalebene recht unterschiedlichen Langfristentwicklungen, bei denen z.B. eine weitgehend an Umweltzielen ausgerichtete Gesamtentwicklung ebenso betrachtet wird wie eine Welt mit zunehmend divergierenden Lebensverhältnissen, werden konsistente Spezifikationen für den Luftverkehrssektor vorgenommen. Anschließend werden mit Hilfe der im DLR Institut für Flughafenwesen und Luftverkehr vorhandenen Modelle wesentliche Kenngrößen des Luftverkehrs, wie z.B. das künftige Passagier- oder Flugbewegungsaufkommen, für die einzelnen Szenarien mit einem Zeithorizont bis 2040 abgeschätzt. Die Ergebnisse der Verkehrsentwicklungsmodellierungen können für weitergehende Fragestellungen, z.B. zur Abschätzung der Umweltwirkungen des Luftverkehrs oder zur Ermittlung von ökonomischen Effekten, genutzt werden.

Im Beitrag wird ein Überblick über den gewählten methodischen Ansatz, die verwendeten Datengrundlagen, die für die Analyse ausgewählten Rahmenszenarien sowie die Vergangenheitstrends der Luftverkehrsentwicklung gegeben. Ein Ausblick auf die weiteren Arbeitsschritte sowie auf die zu erwartenden Ergebnisse schließt den Beitrag ab.

Die vorgestellten Arbeiten sind eingebettet in das von der HGF finanzierte Projekt „Verkehrsentwicklung und Umwelt“.

1. Ziele der Szenarienerstellung zur globalen Luftverkehrsentwicklung

Luftverkehr wird nicht aus Selbstzweck betrieben: Er hat in der Regel eine „dienende“ Funktion und ist deshalb eingebettet in komplexe Zusammenhänge, zum Beispiel zur Wirtschafts-, zur Tourismus- oder auch zur Umweltentwicklung. Die beispielhaft genannten Bereiche üben auf den Luftverkehr (direkt oder indirekt) Einflüsse aus und formen so die Rahmenbedingungen zur Erstellung von Luftverkehrsdienstleistungen entscheidend mit. Gleichzeitig hat auch der Luftverkehr selbst Auswirkungen auf Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft und kann so zu (längerfristigen) Änderungen in diesen Bereichen beitragen. Trotz (oder gerade wegen) dieser komplexen Zusammenhänge ist es notwendig, sich Gedanken über die künftige Entwicklung des Luftverkehrs zu machen, z.B. um abschätzen zu können, welche Entwicklungschancen Luftverkehrsgesellschaften haben, welche Nachfrage nach Luftfahrzeugen zu erwarten ist oder welche Emissionen in Zukunft vom Luftverkehr ausgehen (vgl. Berghof et al. 2005).

Im Folgenden wird die Methodik der Erstellung von Luftverkehrsszenarien für die globale Ebene auf Basis von anerkannten Rahmenszenarien beschrieben. Es werden erste Analyseergebnisse der Vergangenheitsentwicklung, die die Grundlage für die Szenarienquantifizierung liefern, präsentiert und eine qualitative Beschreibung der zu quantifizierenden Luftverkehrsszenarien vorgenommen.

2. Methodischer Ansatz

Nach [Jähnert 2014] umfaßt ein idealtypischer Szenarienprozess folgende Schritte:

1. Problemanalyse/Definition des Untersuchungsfelds
2. Identifizierung der wesentlichen Einflussfaktoren auf die betrachtete Entwicklung
3. Abschätzung möglicher Entwicklungen der Einflussfaktoren (Trends/Projektionen)
4. Wechselwirkungsanalyse oder Bildung konsistenter Trendbündel
5. Beschreibung konsistenter Szenarien („Szenario-Writing“)
6. Störereignisanalyse

7. Auswirkungsanalyse

Das Untersuchungsfeld dieser Arbeit wurde bereits skizziert: Es geht um die Entwicklung des globalen Luftverkehrs an sich. Verschiedene Ausprägungen werden dabei berücksichtigt, wie z.B. die Entwicklung des Luftverkehrsangebots und der entsprechenden Nachfrage, die Entwicklung der weltweiten Luftverkehrsflotte sowie der Treibstoffverbrauch bzw. die Emissionsentwicklung.

Die Identifizierung der wesentlichen Einflussfaktoren erfolgt anhand der Modellerstellung zur Quantifizierung der Entwicklung. Dabei werden die in der Vergangenheit maßgeblichen Einflußgrößen auch für die Zukunft als relevant vorausgesetzt. Ein Nachteil dieses Vorgehens ist, dass Strukturbrüche („Wild Cards“) nicht ohne weiteres betrachtet werden können. Für Strukturbruchbetrachtungen sind demnach eher qualitative Verfahren geeignet.

Erstellung von globalen Luftverkehrsszenarien

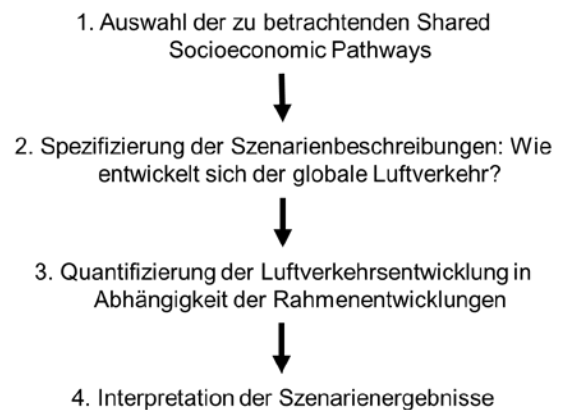


Abbildung 1: Ablauf des vorgestellten Szenarioprozesses

Die maßgeblichen Entwicklungstrends werden durch die Rahmenentwicklungen vorgegeben. Hierzu wird eine anerkannte Szenariendarstellung verwendet: die Shared Socioeconomic Pathways [O'Neill et al. 2015]. Von den fünf verschiedenen Entwicklungspfaden werden vier für die Betrachtung der Luftverkehrsentwicklung auf globaler Ebene ausgewählt. Die von den SSPs vorgegebenen quantitativen Rahmenentwicklungen werden als Eingangsgrößen für die Quantifizierung der Luftverkehrsentwicklung genutzt. Darüber hinaus werden konsistente

luftverkehrsspezifische Entwicklungsannahmen für die einzelnen Szenarien definiert. Wesentliches Merkmal dieser Annahmen ist, dass sie auf quantitativen Zeitreihenbetrachtungen beruhen und die Entwicklungsbandbreite über den Betrachtungszeitraum nachvollziehbar sein sollte (vgl. Hepting et al. 2015).

Eine zusammenfassende Darstellung des Arbeitsprozesses ist in Abbildung 1 wiedergegeben.

Quantifizierung der Verkehrsentwicklung

Das Verkehrsmodell ist Teil einer Gesamtmodellkette (vgl. Abb. 2) und gehört zur Klasse der sogenannten „Direct Demand

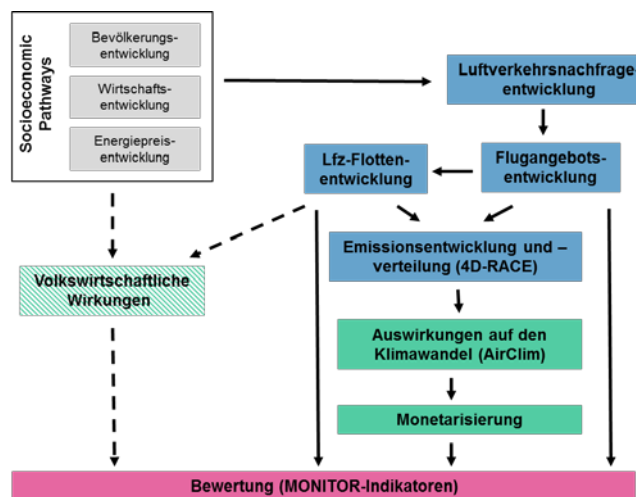


Abbildung 2: Für die Quantifizierung verwendete Modellkette

Models“, welche auf aggregierten Daten basieren. Hierbei werden makroökonomische Größen wie z.B. das Bruttoinlandsprodukt (BIP) zur Modellierung verkehrswirtschaftlicher Zusammenhänge herangezogen. Im Nachfolgenden wird ein Kointegrationsansatz beschrieben, der langfristige Zusammenhänge zwischen dem Luftverkehrswachstum und der Nachfrage- und Angebotsseite darstellt. Der Kointegrationsansatz wird gewählt, um Scheinkorrelationen zu vermeiden. Hierbei wird ein Wachstumsmodell formuliert, da es sich aufgrund seiner relativen Sichtweise flexibler an Anwendungsszenarien anpassen lässt und Ähnlichkeiten zwischen verschiedenen Märkten besser erkennbar sind als bei einem Ansatz, der auf Absolutwerten basiert. Ziel ist es, mit Hilfe des Modells auf globaler Ebene die Auswirkungen von Rahmendatenänderungen

wie der Wirtschafts- und Bevölkerungsentwicklung auf die Entwicklung des Luftverkehrs zu quantifizieren und zu beurteilen.

Wesentliche Inputgrößen des Modells sind die BIP-Entwicklung, bzw. die BIP pro Kopf sowie die Bevölkerungsentwicklung, zur Modellierung der Nachfrageseite. Die Angebotsseite wird durch die Flottenentwicklung abgebildet, welche wiederum zu einer abstrakten Größe (mittlere Flugzeuggrößenentwicklung) kondensiert wird. Sofern das Fluggerät effizient eingesetzt wird, gehen mit einer größeren durchschnittlichen Flugzeuggröße, d.h. Passagiere pro Flug, Kostenvorteile einher, die i.d.R. langfristig in niedrigeren Ticketpreisen münden. Dies zeigt vor allem die Entwicklung im Low-Cost Bereich, die auch zu einem Verdrängen der Regionalfluggesellschaften geführt haben. Weitere wichtige Einflussgrößen sind sogenannte externe Schocks, wie z.B. 9/11, da diese kurzfristig zu starken Abweichungen von der langfristigen Gleichgewichtsbeziehung führen können. Externe Schocks werden in Form von Dummy-Variablen in der Modellierung mit berücksichtigt. Zudem ermöglicht dieser Ansatz eine Analyse vergangener externer Schocks.

Als Outputgröße dient das Wachstum der Passagiere. Darauf basierend wird das Flugbewegungswachstum ermittelt, welches praktisch dem Passagierwachstum abzüglich dem Flugzeuggrößenwachstum und dem Wachstum des Sitzladefaktors entspricht. Letzterer wächst jedoch aufgrund seines recht hohen Niveaus von durchschnittlich etwa 80% bis 85% nur noch marginal pro Jahr, so dass er je nach Anwendungsszenario ausgeblendet werden kann. Zentraler Baustein des Modells ist eine präzise Schätzung der BIP-Elastizität, um Szenarien bezüglich der Rahmendatenentwicklung möglichst genau bewerten zu können. In entwickelten Volkswirtschaften liegt die BIP-Elastizität des Passagierwachstums in einem Bereich von 1,3, d.h. eine Einkommenssteigerung von 1% führt zu einem Passagierwachstum von etwa 1,3%. Jedoch hängt dieser Wert stark von der Wirtschaftsstruktur einer Region ab: In Regionen mit starkem Tourismusbezug kann dieser höher sein, wenn das Ziel hauptsächlich nur mit dem Flugzeug erreichbar ist. Dies wird in dem Modell durch eine sogenannte „charakteristische Matrix“ berücksichtigt, die insbesondere die BIP-Intensität der Verkehrsströme abbildet. Diese Matrix kann sich in Abhängigkeit der

strukturellen und wirtschaftlichen Entwicklung der Regionen dynamisch weiter entwickeln. Eine detaillierte Beschreibung der Methodik des Modells am Beispiel Deutschland ist unter [Gelhausen et al. 2016] zu finden.

3. Retrospektive: Wie verlief die globale Luftverkehrsentwicklung bislang?

Um künftige Entwicklungen abschätzen zu können, ist es zunächst notwendig die Vergangenheitsentwicklung zu kennen und zu analysieren. In der vorgestellten Arbeit werden mit Hilfe von Zeitreihendaten ökonomische Modelle kalibriert, mit deren Hilfe wiederum die Zukunftsbetrachtungen quantifiziert werden könne. Zum einen sind Informationen zu rahmensetzenden Entwicklungen für die Analyse notwendig, wie z.B. die Bevölkerungs- und die Wirtschaftsentwicklung. Diese Rahmengrößen können zur Erklärung der Luftverkehrsentwicklung herangezogen werden. Wichtig ist aber vor allem auch wesentliche Kenngrößen des Luftverkehrs zu betrachten und strukturelle Veränderungen zu analysieren. Im Folgenden werden drei grundlegende Beispiele für solche Strukturveränderungen vorgestellt. Bei der Modellerstellung gilt es, diese Größen zueinander in Beziehung zu setzen (vgl. Kap. 2).

Nachfrageentwicklung nach Weltregionen

In Abbildung 3 ist die Entwicklung der globalen Passagiernachfrage – gemessen in Personenkilometern – wiedergegeben. Die Unterteilung erfolgte in einzelne Weltregionen bzw. so genannte „Route groups“ (Korridore zwischen den Weltregionen). Es wurde eine starke Aggregation der in der Szenarienerstellung tatsächlich verwendeten ca. 45 Verkehrsgebieten/-relationen vorgenommen.

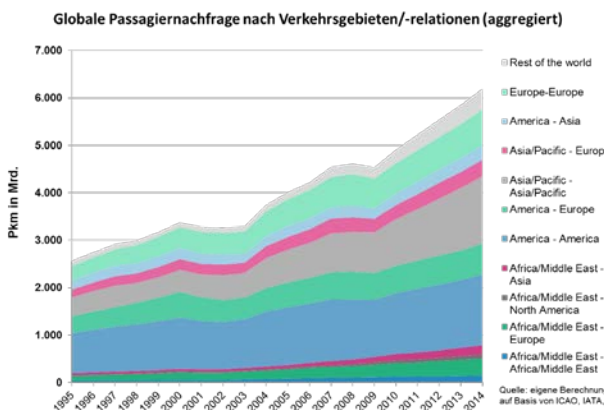


Abbildung 3: Globale Passagiernachfrage nach Verkehrsgebieten/-relationen

Deutlich wird zum einen, dass die Personenverkehrsnachfrage im globalen Luftverkehr von 2000 bis 2014 um ca. 91% zugenommen hat. Zum anderen kann man erkennen, dass diese Zunahme nicht in allen Regionen gleich verlaufen ist: Während Nordamerika als größter Luftverkehrsmarkt im Betrachtungszeitraum nur um 38% an Volumen gewinnen konnte, stieg die Nachfrage in Asien/Pazifik um 208% an.

Flugbewegungsentwicklung

Die Nachfrage nach Leistungen im Personenluftverkehr ist über alle Weltregionen in den letzten Jahren kontinuierlich gewachsen. Demgegenüber stellt sich bei den Flugbewegungen ein etwas anderes Bild dar: Insgesamt ist die Anzahl der Flugbewegungen (gemessen in Starts ab einer bestimmten Weltregion, Abbildung 4) zwischen 2000 und 2014 auf globaler Ebene nur um 18% von ca. 28 Mio. Flügen auf 33 Mio. Flügen gestiegen.

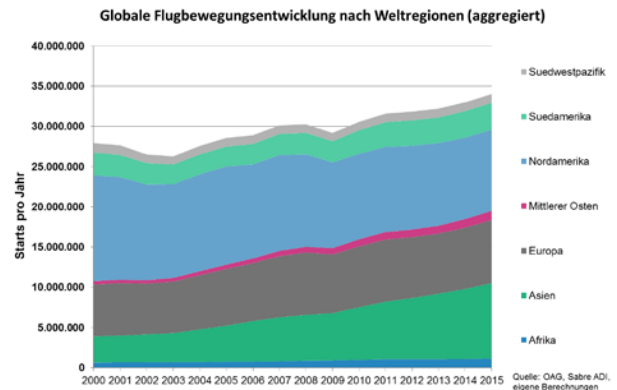


Abbildung 4: Flugbewegungsentwicklung nach Weltregionen

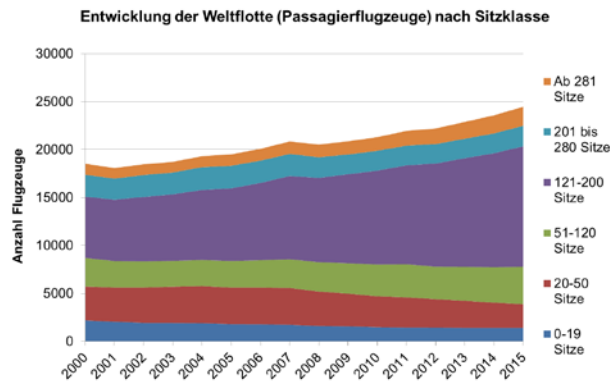
Beim Vergleich der einzelnen Weltregionen stellt man fest, dass es in Nordamerika – trotz eines Pkm-Zuwachses von 38% - sogar einen Rückgang um 23% an Flugbewegungen gegeben hat.¹ Anders stellt sich die Situation in

¹ Es ist allerdings zu beachten, dass diese Zahlen nicht direkt miteinander vergleichbar sind, da bei den Flugbewegungen alle Starts ab Nordamerika gezählt wurden, während es sich bei den Personenkilometern um diejenigen handelt, die innerhalb von Amerika zustande gekommen sind. Interkontflüge spielen für die Verkehrsregion Nordamerika allerdings eine untergeordnete Rolle. Deshalb kann die Aussage getroffen werden, dass innerhalb von Nordamerika

Asien dar: Hier stieg die Anzahl der Flugbewegungen zwischen 2000 und 2014 um 168% von 3,2 Mio. auf 8,7 Mio. Flugbewegungen an.

Flottenentwicklung nach Größenklassen

Die Anzahl der im Weltpassagierverkehr eingesetzten Flugzeuge ist von 18.500 im Jahr 2000 auf 23.600 im Jahr 2014 um 27,3% gestiegen. Während in diesem Zeitraum die Anzahl der kleineren Flugzeuge bis 50 Sitzen abgenommen hat, wuchs vor allem die Größenklasse zwischen 121 und 200 Sitzplätzen stark an: von 6.400 im Jahr 2000 auf 11.900 im Jahr 2014, also um 86%. Die „Verschiebung“ von kleineren zu größeren Flugzeugen bildet eine Erklärung für den höheren Anstieg der Personenkilometer im Vergleich zu den Flugbewegungen.



Quelle: ASCEND Online Fleets

Abbildung 5: Flugzeugflottenentwicklung nach Größenklasse

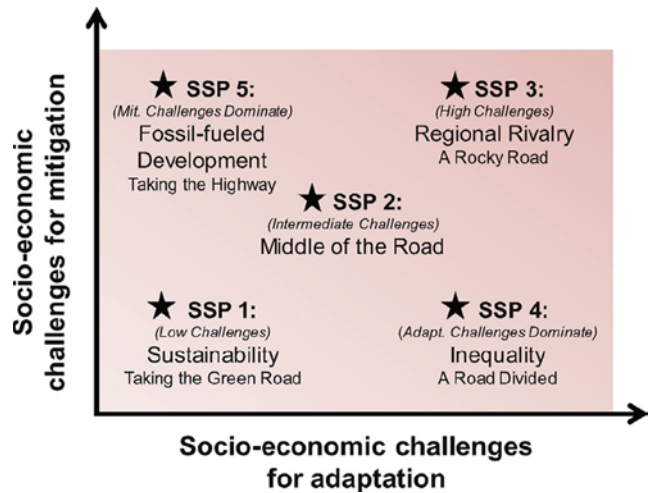
Neben den vorgestellten Größen sind vor allem folgende Merkmale zur Beschreibung der Verkehrsentwicklung von Bedeutung (jeweils bezogen auf Verkehrsregionen/-relationen):

- Anzahl der beförderten Passagiere,
- Angebotene Sitzplätze bzw. Sitzplatzkilometer,
- Auslastung der Flugzeuge („Sitzladefaktor“),
- durchschnittliche Fluglänge

4. Die Shared Socioeconomic Pathways und ihre Spezifikation für den Luftverkehr

trotz einer sinkender Anzahl an Flugbewegungen deutlich mehr Personenkilometer zurückgelegt wurden.

Als Basis für die hier vorgestellten Luftverkehrsszenarien werden die von einer Wissenschaftlergruppe erarbeiteten „Shares Socioeconomic Pathways“ (SSP) genutzt [O’Neill et al. 2015]. Diese Szenarien wurden im Hinblick auf die Verwendung für künftige Arbeiten des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) erstellt. Sie werden deshalb als Grundlage für Klimaauswirkungsszenarien und zur Untersuchung politischer Treibhausgasminderungsstrategien eingesetzt. Da diese Szenarien jedoch grundsätzliche Pfade für denkbare Entwicklungen des sozioökonomischen Gesamtzusammenhangs auf globaler Ebene beschreiben, eignen sie sich ebenfalls als Grundlage für Zukunftsbetrachtungen des Luftverkehrssystems.



Quelle: O’Neill et a. 2015

Abbildung 6: Taxonomie der Shared Socioeconomic Pathways

Es wurden von O’Neill et al. fünf verschiedene Hauptpfade definiert, die über den Betrachtungszeitraum zu völlig unterschiedlichen „Welten“ führen würden. Die Forschergruppe um hat dabei zwei Betrachtungsdimensionen besonders berücksichtigt: Zum einen, wie hoch die Herausforderungen für die Minderung der Treibhausgase sein werden und zum anderen, wie hoch die Herausforderungen durch die Anpassungen an Klimafolgewirkungen sein werden. Alle fünf Szenarienpfade lassen sich diesen beiden Dimensionen unterschiedlich zuordnen (vgl. Abb. 6). Vier der fünf Pfade werden im Folgenden kurz vorgestellt. Die Beschreibungen der Rahmenentwicklungen orientiert sich an O’Neill et al. 2015. Für die Luftverkehrsentwicklung auf globaler Ebene erfolgt eine qualitative Spezifizierung, die im

weiteren Verlauf der Arbeiten mit quantitativen Informationen hinterlegt werden muß (vgl. Kap. 2). SSP4 „Inequality“ wird bei der Szenarienbeschreibungen und -spezifizierung nicht berücksichtigt, da dieser Pfad im Hinblick auf den Luftverkehr zwar zu einer interessanten, aber wohl auch zu einer kaum quantifizierbaren Entwicklung führen würde. Dies liegt im Wesentlichen darin begründet, dass in SSP4 angenommen wird, dass nur eine kleine Minderheit Zugang zu Ressourcen und Technologien haben wird. Luftverkehr würde damit zu einer Dienstleistung, die nur noch ein Nischendasein fristen würde. Ein solches Szenario ist mit den eingesetzten Modellen nicht ohne Weiteres abbildbar.

SSP 1: Sustainability – Taking the green road

Der Szenariopfad „Sustainability – Taking the Green Road“ beschreibt eine Entwicklung, die in erster Linie von einer Umweltorientierung der Politik gekennzeichnet ist. Auf globaler Ebene definierte Zielstellungen für eine nachhaltige Entwicklung werden konsequent verfolgt und in den einzelnen Weltregionen bzw. Staaten werden Maßnahmen zur Zielerreichung erfolgreich umgesetzt. Im Ergebnis können wesentliche Ziele für die Bereiche Umweltschutz, Wirtschaftsentwicklung und soziale Entwicklung erreicht werden. Die Entwicklungen zwischen den einzelnen Weltregionen konvergieren, d.h. derzeit ärmere Länder haben ein überdurchschnittliches Wirtschaftswachstum. Das Wohlstandsniveau in diesen Ländern gleicht sich zunehmend den bereits weit entwickelten Ländern an. Gleichzeitig sinkt der spezifische Energieverbrauch auf globaler Ebene. Im Ergebnis führt dieses Szenario zu geringen Herausforderungen sowohl hinsichtlich der Treibhausgasreduzierung als auch bei den notwendigen Anpassungen an den Klimawandel.

Luftverkehrsangebot und -nachfrage

Durch die fortschreitenden Globalisierungstendenzen in diesem Szenario bei gleichzeitigem überdurchschnittlichen Wirtschaftswachstum „unterentwickelter“ Weltregionen dürfte es eine moderate Zunahme der Luftverkehrsnachfrage auf globaler Ebene geben. Da diese Entwicklung jedoch unter einer starken Umweltorientierung mit entsprechenden Regulierungen (z.B. CO₂-Handel, Kerosinbesteuerung etc.) erfolgt, wird es gleichzeitig zu einer Strukturverschiebung kommen: Kurz- und Mittelstreckenverkehre

verlieren an Bedeutung und Langstreckenverkehre werden wichtiger. Aufgrund der verschärften Rahmenbedingungen rücken die Luftverkehrsgesellschaften enger zusammen und bauen ihre Kooperationen aus. Die Wettbewerbsintensität im Markt nimmt ab. Der Luftfrachtverkehr bleibt ein Nischenmarkt für hochwertige Güter.

Luftverkehrsinfrastruktur und -technik

Durch die starke Betonung von Umweltzielen auf globaler Ebene gewinnen energieeffizienzsteigernde Maßnahmen im Luftfahrzeugbau an Bedeutung. Die bislang definierten Umweltstandards dürften in diesem Szenario weiter verschärft werden. Insgesamt werden stark sinkende spezifische Flottenverbräuche zu erwarten sein. Die Energiebereitstellung in diesem Szenario wird durch synthetisches Kerosin, welches mit Hilfe von regenerativen Energien hergestellt wird, geprägt sein. So genannte Biofuels dürften wegen der bekannten Problematik in der Herstellung in diesem Szenario eine eher untergeordnete Rolle spielen. Als „revolutionäre“ Technologie können sich in diesem Szenario Luftschiffe zum Gütertransport durchsetzen. Mit ihnen können relativ große Lasten über weite Strecken bei gleichzeitig geringem Energieverbrauch befördert werden.

Im Bereich des Air Traffic Managements setzen sich umweltorientierte Flugführungsstrategien („Green Flight“), bei denen die Umweltwirkungen bei der Flugplanung mit einbezogen werden, durch. Die Kapazitätsentwicklung von Flughäfen erfolgt in diesem Szenario nachfrageorientiert, d.h. es werden nur dort Ausbaumaßnahmen umgesetzt, wo Kapazitätsgrenzen erreicht sind. Kleinere Flughäfen verlieren wegen eines Rückgangs an Kurzstreckenverkehren an Bedeutung.

SSP 2: Middle of the road

Der Pfad des Szenarios „Middle of the Road“ (SSP2) orientiert sich an der bislang zu beobachtenden Vergangenheitsentwicklung. Die historischen Entwicklungstendenzen werden fortgeschrieben. In den einzelnen Weltregionen herrschen unterschiedliche Entwicklungsdynamiken vor, sowohl in wirtschaftlicher wie auch in demographischer Hinsicht. Ärmere Länder haben Mühe sich dem Wohlstandsniveau der entwickelten Staaten anzunähern. Umweltzielsetzungen auf globaler Ebene werden nur teilweise erreicht. Zwar

werden auf globaler Ebene wesentliche Herausforderungen, wie Armutsbekämpfung, Steigerung des Bildungsniveaus, Erreichung von Umweltzielen, erkannt. Die Umsetzung der Maßnahmen zur Erreichung dieser Ziele erfolgt jedoch sehr langsam. Während die „klassischen“ Industrienationen wie die USA und Europa nur mit moderatem Tempo am globalen Gesamtwachstum partizipieren, liegt nach wie vor das höchste Wachstum in den derzeitigen „Schwellenländern“ wie China und Indien. Auch andere asiatische Staaten wachsen weiterhin sehr dynamisch.

Luftverkehrsangebot und –nachfrage

In den weitgehend gesättigten Luftverkehrsmärkten Nordamerika und Europa wird in diesem Szenario nur noch mit einem leichten, aber kontinuierlichen Wachstum gerechnet. Ähnlich wie bei der Wirtschaftsentwicklung liegen die Wachstumsschwerpunkte vor allem in den heute sich schon stark entwickelnden Weltregionen wie China, Südasiens und Nahost. In Südamerika und Afrika kann es in diesem Szenario zwar auch hohe Zuwächse geben, aber von einem relativ niedrigen Ausgangsniveau heraus. Der Marktrahmen des globalen Luftverkehrs wird mit langsamem Tempo weiter liberalisiert. Dadurch wächst der Wettbewerbsdruck zwischen den Airlines. Der Luftfrachtmarkt entwickelt sich in Abhängigkeit der vorherrschenden Wirtschaftskonjunktur, gewinnt aber weiterhin an Bedeutung.

Luftverkehrsinfrastruktur und -technik

Das Technikniveau der Luftfahrzeuge wird im Szenario „Mittel of the road“ kontinuierlich verbessert. Dabei geschieht die Entwicklung global gesehen nicht einheitlich. In stark wachsenden Märkten wie in China oder Indien ist ein überdurchschnittlicher Anstieg der Treibstoffeffizienz zu beobachten. In den weitgehend gesättigten Märkten Nordamerikas und Europas vollzieht sich die Flottenerneuerung nicht mehr so schnell, so dass die Treibstoffeffizienz nur mit leichtem Tempo zunimmt. Wobei moderate Umweltstandards auch hier zu einer Flottenerneuerung beitragen. Im Bereich unkonventioneller Technologien gewinnen automatisierte Flugzeugkonzepte an Bedeutung. So können bis 2050 erste automatisch fliegende Kleinflugzeuge für individuelle Transportbedürfnisse eingesetzt werden. Aufgrund der hohen Kosten dieser Technologie bleibt das Einsatzgebiet allerdings überschaubar.

Im Bereich der Energiebereitstellung gewinnen alternative Energieträger, wie Biokerosin und synthetische Kraftstoffe aus regenerativen Quellen an Bedeutung. Ebenso werden vereinzelt energieelektrische Speicher in Luftfahrzeugen eingesetzt. Konventionelles Kerosin spielt aber, unter entsprechenden Umweltauflagen, wie der CO₂-Kompensation, weiterhin eine bedeutende Rolle im Energiemix. Beim Air Traffic Management können durch eine verbesserte Kooperation zwischen staatlichen Anbietern in einzelnen Weltregionen Effizienzsteigerungen erzielt werden. Der „große Wurf“ im Sinne einheitlicher überstaatlicher Lufträume bleibt jedoch aus. Vor allem in den Weltregionen, in denen ein überdurchschnittliches Luftverkehrswachstum zu verzeichnen ist, werden die Flughafenkapazitäten stark ausgebaut. In den klassischen Märkten Nordamerika und Europa werden hingegen nur vereinzelt Anpassungen an die erhöhte Nachfrage vorgenommen.

SSP 3: Regional rivalry – A rocky road

Das Szenario „Regional Rivalry“ beschreibt eine Welt, in der zwischen den einzelnen Weltregionen, aber auch innerhalb der Weltregionen zunehmende Abschottungstendenzen zu verzeichnen sind. Nationalstaatliche Eigenständigkeit gewinnt wieder an Bedeutung, überstaatliche Kooperationen werden beendet. In der Folge dieser Entwicklung können globale Zielsetzungen nicht erreicht werden. Im Bildungssektor, beim Wirtschaftswachstum, bei der Armutsbekämpfung sowie bei Umweltzielen versagt die überstaatliche Zusammenarbeit. Die einzelnen Weltregionen divergieren zunehmend in Bezug auf das Wohlstandsniveau. Während in einzelnen Ländern oder Regionen weiterhin hohe Wohlstandszuwächse zu verzeichnen sind, schaffen es andere Regionen nicht ihre ökonomischen, ökologischen und sozialen Probleme zu lösen. In Bezug auf den Klimawandel bestehen hohe Herausforderungen sowohl hinsichtlich der Treibhausgasminde rung als auch hinsichtlich der Klimafolgenanpassung.

Luftverkehrsangebot und –nachfrage

Die oben beschriebene Gesamtentwicklung führt zu erheblichen Veränderungen im Luftverkehrssektor: Langstreckenverkehre zwischen den Weltregionen verlieren an Bedeutung, während sich Kurz- und Mittelstreckenverkehre in den einzelnen Weltregionen unterschiedlich entwickeln. In

einzelnen Regionen wird es starke Zuwächse geben, in anderen Regionen stagnieren diese Verkehre oder gehen zurück. Nationalstaatliche Luftverkehrsgesellschaften gewinnen wieder an Bedeutung. Die Wettbewerbsintensität im Luftverkehrsmarkt ist jedoch gering, die Flugpreise sind hoch. Durch die rückläufigen Globalisierungstendenzen verliert auch der Luftfrachtverkehr an Bedeutung.

Luftverkehrsinfrastruktur und -technik

Unter den beschriebenen Bedingungen existieren keine global zu betrachtenden technischen Entwicklungen mehr. Einzelne Weltregionen entwickeln „ihre“

Luftfahrzeugtechnik wieder eigenständig. Zwar werden in diesem Szenario auch technische Innovationen im Luftfahrzeugbau zu finden sein. Sie werden jedoch nur in einigen wenigen Regionen zum Einsatz kommen. So ist es vorstellbar, dass es in einzelnen Weltregionen zum Einsatz von Hochgeschwindigkeits-Transporthubschraubern kommen wird. Für diese relativ teuren Konzepte ist eine kostengünstige Energieverfügbarkeit notwendig, die es in einzelnen Regionen nach wie vor geben kann. Auch die Energiebereitstellung im Luftfahrtsektor entwickelt sich uneinheitlich: Während einzelne Regionen auf kostengünstig verfügbares Erdöl zurückgreifen können, werden andere Regionen die für den Luftverkehr benötigte Energie teuer über andere Wege herstellen müssen. Wieder andere Regionen werden aus Umweltgesichtspunkten auf Energie aus regenerativen Quellen zurückgreifen.

Beim Air Traffic Management werden die bislang zaghafte überstaatlichen Kooperationsansätze aufgegeben. Die Flugsicherung wird wieder als nationalstaatliche Aufgabe gesehen, so dass mögliche Synergien durch Kooperationen nicht erzielt werden können. Auch das Sicherheitsniveau entwickelt sich in diesem Szenario uneinheitlich. Weltweite Sicherheitsstandards können nicht mehr durchgesetzt werden. Flughäfen werden nur in wenigen Regionen, wie z.B. innerhalb von China, ausgebaut. In den meisten anderen Weltregionen reichen die bereits bestehenden Flughafenkapazitäten aus.

SSP 5: Fossil-fueled development – Taking the highway

Das Szenario „Fossil-fueled Development“ ist durch eine rein konventionell orientierte Energiewirtschaft gekennzeichnet. Die

Energiebereitstellung bleibt durch die Nutzung fossiler Quellen relativ günstig. Das Szenario weist eine hohe wirtschaftliche Dynamik auf, die mit konvergierenden Tendenzen zwischen den Weltregionen gekoppelt ist. Ähnlich wie in SSP1 steigt das Bildungs- und Wohlstandsniveau global an. Umweltprobleme werden in erster Linie über technologische Ansätze gelöst. Der Klimawandel bleibt hinsichtlich der Treibhausgasminde rung eine Herausforderung. Die Klimafolgenanpassung kann mit entsprechend hohem Mitteleinsatz und innovativen Technologien vorgenommen werden.

Luftverkehrsangebot und –nachfrage

Durch weiterhin starke Globalisierungstendenzen, eine hohe wirtschaftliche Dynamik, eine kostengünstige Energieverfügbarkeit und hohen Wettbewerbsdruck zwischen den Airlines steigt die Luftverkehrsnachfrage in allen Weltregionen weiterhin an. Neben den heutigen Wachstumsmärkten in Asien und dem Nahen/Mittleren Osten können auch die jetzigen Entwicklungsländer am Wachstum partizipieren und ihr Wohlstandsniveau u.a. mit Hilfe von Luftverkehrsangeboten steigern. Der Luftverkehrsmarkt insgesamt wird weiter liberalisiert, was zu einer größeren Wettbewerbsintensität und sinkenden Ticketpreisen führt.

Luftverkehrsinfrastruktur und -technik

Durch die weiterhin günstige Energiebereitstellung haben energieintensive Flugtechnologien eine Chance sich auf dem Markt durchzusetzen. So ist die Einführung von Überschallbusinessjets ebenso wie der Einsatz von Hochgeschwindigkeitshubschraubern denkbar. Insgesamt erfolgt die Technologieentwicklung in einem hohen Tempo, was auch zu einem geringeren spezifischen Energieverbrauch führen wird. Neben Großraumflugzeugen gewinnen Regional- und (automatisierte) Kleinflugzeuge im Flugzeugbau wieder an Bedeutung. Auch Megaliner werden wegen Kapazitätsengpässen an hoch ausgelasteten Drehkreuzflughäfen wieder verstärkt nachgefragt.

Beim Air Traffic Management werden durch eine weitgehende Deregulierungen über alle Weltregionen hohe Synergien – sowohl in organisatorischer wie auch in technischer Hinsicht – erzielt. Hier sinken die Kosten

ebenfalls stark. Die Kapazitäten an den Flughäfen werden angebotsorientiert, also im Hinblick auf das künftig zu erwartende Wachstum, ausgebaut. Dies betrifft sowohl heute schon gut ausgelastete Anlagen wie auch kleinere Flughäfen. Dadurch erhöht sich der Wettbewerb zwischen Flughafenstandorten, was die Nutzungspreise wiederum sinken läßt.

5. Weitere Arbeitsschritte und zu erwartende Ergebnisse

Als nächste Schritte der der vorgestellten Arbeit werden die Strukturdatenanalysen fortgeführt und die Modellkalibrierungen vorgenommen. Daneben müssen die vorgegebenen Rahmendaten so aufbereitet werden, dass sie als Eingangsgrößen für die Modellierung verwendet werden können. Für die luftverkehrlichen Aspekte sind die in diesem Text qualitativ beschriebenen Annahmen quantitativ zu spezifizieren, z.B. zur künftigen Energieverbrauchsentwicklung im Luftverkehr. Die geschieht in erster Linie durch eine Analyse verfügbarer Quellen.

Wenn diese grundlegenden Arbeitsschritte abgeschlossen sind, kann die Quantifizierung der vier beschriebenen Szenarienpfade erfolgen. Im Anschluß daran muß eine Überprüfung der Rechenergebnisse auf Plausibilität erfolgen. Auf Grundlage der Ergebnisse zur Verkehrsentwicklung können Auswirkungsanalysen, z.B. zu ökologischen oder ökonomischen Fragestellungen, durchgeführt werden.

Verwendete Quellen

Airbus S.A.S (diverse Jahre): Global Market Forecast. Blagnac Cedex, Frankreich.

Berghof, R. und Schmitt, A. und Eyers, C. und Grübler, A. und Hancox R., und Haag, K. und Middel, J. und Hepting, M. (2005): CONSAVE 2050. Final Report. Projektbericht. G4MA-CT-2002-04013 (EU), 213 S.

Boeing Commercial Airplanes (diverse Jahre): Current Market Outlook. Seattle, USA.

Gelhausen, Marc; Berster, Peter; Wilken, Dieter (2016): A New Model of Long-term Forecasting Air Passenger Demand, The Number of Air Transport Movements of Germany. ATRS World

Conference 2016, Rhodos, Griechenland, 23. - 26. Juni 2016.

Hepting, Michael; Kokus, Petra; Grimme, Wolfgang (2016): Welche Glaskugel ist die Richtige? Methoden und Ergebnisse von Zukunftsstudien zur globalen Luftverkehrsentwicklung im Vergleich. Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2015, Rostock

Jähnert, Martin (2014): Szenario-Methode in der Verkehrswissenschaft. In: Internationales Verkehrswesen 3/2014 (Jahrgang 66), S. 93 -95

O'Neill et al.: The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. 2015, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>