

## Diskussion

Die Resultate der beiden Studien ergeben im Vergleich mit weiteren Studien zum Thema<sup>1</sup> ähnliche Werte. Die geringen Abweichungen zwischen den Studien sind meist durch die Untersuchungsmethode erklärbar. Die abschliessende Aussage aus den beiden Studien geht von einer Ineffizienz auf kontinentalen Flügen von rund 5.8% aus, während auf interkontinentalen Flügen eine durchschnittliche Ineffizienz von 2.0% ermittelt wurde. Dabei wurde ein Zusammenhang zwischen der Länge eines Fluges und der resultierenden Ineffizienz festgestellt. Grundsätzlich gilt, je länger ein Flug, desto geringer ist die relative Ineffizienz der betreffenden Flugstrecke. Dies resultiert zu einem Teil aus der Tatsache, dass ein grosser Anteil der Langstreckenflüge in Lufträumen über Ozeanen operiert, wo meist günstiger geplant werden kann als in dicht beflogenen Lufträumen. Für Afrika wurden ähnlich günstige Voraussetzungen identifiziert. Eine weitere Begründung liegt in der relativen Betrachtung selbst, welche eine identische laterale Flugwegabweichung vom Optimum anhand der Streckenlänge zwangsläufig so gewichtet, dass kürzere Strecken bei gleicher absoluter Abweichung schlechter abschneiden. Die kontinentalen Flugrouten sind durch die hohe Verkehrsdichte stärkeren Restriktionen ausgesetzt, was meist einen negativen Einfluss auf die Effizienz hat. Die ermittelten 5.8% im europäischen Verkehr sind zudem auf Swiss bezogen, welche mit ihren Schweizer Flughäfen im Zentrum von Europa stärker von Ineffizienzen betroffen ist als dies im europäischen Durchschnitt der Fall ist. Der gesamteuropäische Wert liegt bei knapp 5% und stellt damit einen Zwanzigstel der gesamten geflogenen Flugstrecke dar.

Die ermittelten Werte müssen für eine ausführliche Interpretation in Relation zu weiteren Faktoren betrachtet werden: Warteschleifen am Zielflughafen und wetterbedingte Abweichungen auf der Strecke, aber auch wechselnde An- und Abflugverfahren führen häufig zu Verlängerungen der Gesamtflugzeit, die das Einsparpotenzial auf der Strecke übertreffen. Ein aktuelles Beispiel für einen Effekt, der grösser als das Sparpotenzial von Free Flight ist, stellt die Situation am Flughafen Zürich am frühen Morgen wie folgt dar. Die Nachtflugsperrung dauert bis 06:00 Uhr Lokalzeit, und zwischen 06.00 und 06.15 Uhr landen planmässig bis zu 7 Langstreckenflüge. Wenn diese pünktlich am Startflughafen abfliegen, erreichen sie unter anderem Dank unterwegs erhaltenen, nicht einkalkulierbaren Abkürzungen sowie eventuell günstigerer Winde und weiteren Flugplanabweichungen Zürich

---

<sup>1</sup> Studien von Swiss, EUROCONTROL und FAA.

bereits vor Ende der Nachtflugsperrung. In diesem Fall werden die Flugzeuge in Holdings geschickt, teilweise bis zu 20 Minuten. Im Anhang D.I ist dieses Phänomen graphisch dokumentiert sowie genauer erklärt. Dieses spezielle Problem ist auch Ausdruck der nach wie vor nicht auf die Minute genauen Planung. Die Lösung eines Problems wie jenes der Frühankünfte in Zürich könnte auf relativ einfache Weise geschehen und würde für die betroffenen Flüge oftmals mehr Zeitersparnis bringen, als ein aufwändiger Wechsel zu einem Free Flight Zustand. Dies relativiert die Bedeutung von Free Flight. Dabei darf jedoch nicht vergessen werden, dass Free Flight für jeden einzelnen Flug diese Einsparungen bringen würde, während nur eine bestimmte Anzahl von Flügen von den erwähnten, negativen Phänomenen betroffen ist. Dabei ist nicht zu übersehen, dass zwar infolge solcher flugverlängernder Ereignisse der Charme einer optimalen Flugwegplanung verblasen würde, der Zeitgewinn aber erhalten bliebe. Free Flight könnte zudem auch einen reduzierenden Effekt auf die genannten, negativen Einflüsse haben, denn die Technologien, die Free Flight ermöglichen sollen, würden wohl auch das ATM in den TMAs erleichtern und verbessern, sowie im Rahmen leistungsfähigerer Trajektorien-Rechner eine stark verbesserte Planung ermöglichen.

Auf den Langstreckenflügen wurde ein Einsparungspotenzial zwischen 2 und 31.3 Minuten, bei einem Mittelwert von 9.9 Minuten, ermittelt. Diese Werte stammen aus der Flugplanberechnung und enthalten daher keine ausserordentlichen Einflüsse wie Verspätungen und Holdings. In einer Auswertung von 6'348 Interkontinental Flügen von Lufthansa wurde eine durchschnittliche Holding Zeit von 2.3 Minuten pro Flug ermittelt.<sup>2</sup> Diese Warteschleifen müssen in eine umfassende Beurteilung der Ineffizienz einfließen, waren aber für beide Studien nicht verfügbar. Da Holding-Zeiten auch bei Free Flight nicht auszuschliessen, aber heute nicht annähernd quantifizierbar sind (Flughäfen als Nadelöhre), ist die Berücksichtigung für einen Effizienzvergleich fraglich. In einer idealen Welt, welche durch Free Flight abgebildet werden sollte, treten jedoch theoretisch keine Holdings auf. Die ermittelten Ineffizienzen lassen sich auch in einer Free Flight Welt nicht komplett verhindern. Militärische Zonen, Politische Differenzen, meteorologische Hindernisse und weitere Gründe werden auch in diesem idealen Planungsumfeld noch existieren und zu Umwegen führen. Im Fall von militärischen Sperrgebieten lässt sich möglicherweise eine wesentliche Optimierung gegenüber dem heutigen Zustand durch zeitliche und

---

<sup>2</sup> Auswertung im Obelisk (Datenbank DLH) zwischen 18.04. und 08.08.2007 (Intercontinental, To Frankfurt), wobei Holding Werte vermutlich nicht konsequent eingetragen wurden und der tatsächliche Wert mit grosser Wahrscheinlichkeit höher liegt.

geographische Verlegung dieser Zonen erreichen. Free Flight ist damit nicht ein absolut optimaler Zustand, nutzt aber den Luftraum optimal aus. Die Elimination der Luftstrassen lässt eine freie Nutzung des Raumes zu, sodass im Idealfall jedes Flugzeug seiner optimalen Flugroute folgen kann. Flugzeuge werden sich in jedem Fall auch in einem freien Luftraum kreuzen, wobei im Falle von gefährlichen Annäherungen vom optimalen Flugweg abgewichen werden muss, um die Abstände und damit die Sicherheit zu gewährleisten. Welcher Anteil der Zeitersparnis zwischen heutigen Flügen und einem idealen Free Flight Flug schlussendlich noch als Gewinn gegenüber heute verbleibt, lässt sich nicht abschliessend beurteilen.

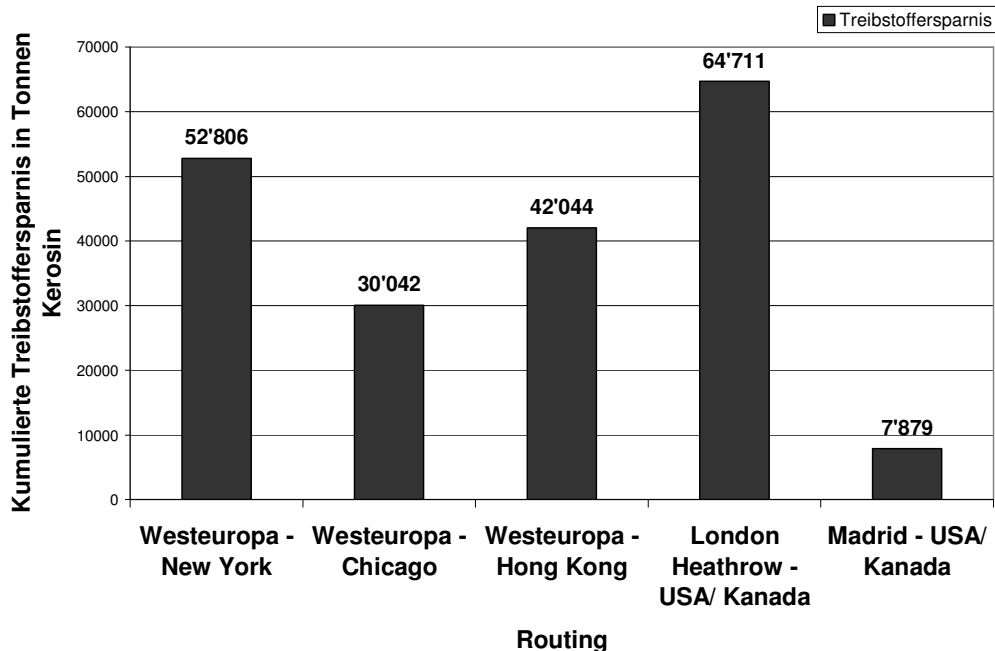
Die vorliegenden Untersuchungen haben stets den Effekt der TMA ausgeklammert. Die TMA steuert einen zusätzlichen Beitrag zur Ineffizienz bei, da fest definierte An- und Abflugverfahren heute zusätzliche Flugwege im Rahmen von einigen wenigen bis zu 15 Minuten bedingen. Der Zeitaufwand infolge dieser Verfahren steht in einem bedeutenden Verhältnis zu den ermittelten Potenzialen von Free Flight, da der Effekt der TMA vermutlich nochmals ähnliche Prozentwerte zur bestehenden Ineffizienz beisteuert und somit die Gesamteffizienz je nach Betrachtung verändert. Die zentrale Frage ist dabei, inwieweit eine Optimierung der TMA unterstellt werden kann. Eine genaue Untersuchung dazu ist jedoch auf Grund der Komplexität des Zusammenspiels von sicheren Start- und Landeverfahren und der hypothetischen Natur der zu treffenden Annahmen schwierig und müsste in einer weiteren Studie ermittelt werden.

### ***1.1 Eine Hochrechnung des Free Flight Potenzials***

Eine Hochrechnung birgt stets das Risiko, Fehler in den Eingangsdaten multiplikativ zu verwerfen. Aus diesem Grund ist es besonders wichtig, die Eingangsparameter sowie das verwendete Verfahren genau zu erläutern. Nur so kann der fachkundige Leser das ermittelte Resultat beurteilen. Eine gewisse Skepsis ist bei Hochrechnungen stets angebracht, und nur eine kritische Würdigung der Resultate hat die Chance, ein faires Abbild zu vermitteln. Trotz dieser Vorbehalte Hochrechnungen gegenüber werden hier solche einbezogen, da sie eine wichtige Brücke zwischen den ermittelten Werten der Studien und den möglichen Gesamteinfluss dieser Resultate auf die Praxis aufzeigen. Die verwendeten Parameter und Annahmen der folgenden Hochrechnungen befinden sich im Anhang Kapitel D.II.

Eine Umrechnung der gesamten Menge an Treibstoff, welche auf Interkontinentalverbindungen von und nach Europa unter Free Flight Bedingungen jährlich eingespart werden könnte, entspricht der Menge von

5.8 Ladungen eines Öltankers.<sup>3</sup> Die dabei eingesparte Zeit beträgt über 12'320'000 Minuten oder knapp 23.5 Jahre Flugzeit pro Kalenderjahr. Die Abbildung 1 zeigt die Menge an Treibstoff, welche auf ausgewählten Routen bei Free Flight gegenüber dem heutigen Zustand jährlich eingespart werden könnte.

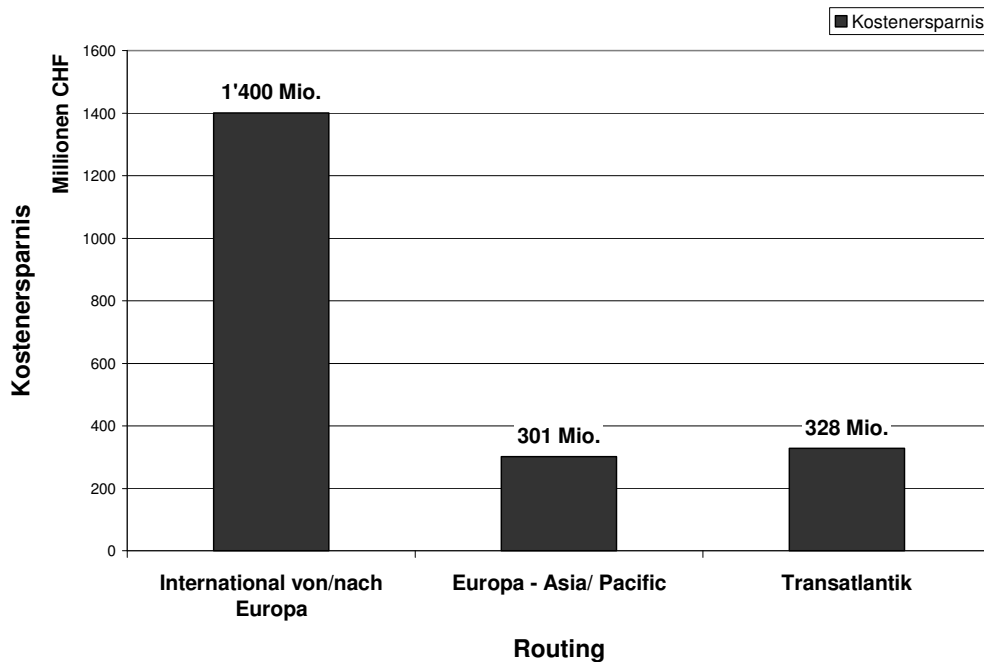


**Abbildung 1: Kumulierte jährliche Treibstoffersparnis in Tonnen Kerosin für Free Flight verglichen mit dem heutigen Zustand.**

Die resultierenden jährlichen Kosten, welche den Unterschied zwischen Free Flight und dem heutigen Zustand ausmachen, werden in der folgenden Abbildung 2 als Kostenersparnis in Schweizer Franken dargestellt. Während die Nordatlantik Flüge eine wesentlich höhere Frequenz aufweisen, ist das Potenzial pro Flug auf den Asien/ Pazifik Strecken höher, was die Werte annähert. Gerade bei dieser Abbildung wird aber auch deutlich, wie sehr es sich um eine Momentaufnahme handelt. Die Frequenzen auf den einzelnen Strecken verschieben sich relativ deutlich innert kurzer Zeit. So weist Afrika ein Wachstum des interkontinentalen Verkehrs von 11%, Nordamerika von lediglich 3% zwischen 2006 und 2007 auf. Die stark schwankenden Treibstoffpreise sowie die ständig verbesserten Effizienzen auf den Routen

<sup>3</sup> Annahme: Öltanker der Kategorie Very Large Crude Carrier (VLCC) mit 250'000 Tonnen Zuladung, gemäss <http://www.wikipedia.de>.

verändern diese Werte genau so schnell wie das Auf- und Abbauen von Frequenzen der einzelnen Fluggesellschaften.<sup>4</sup>



**Abbildung 2: Jährliche Kostendifferenz zwischen dem heutigen Zustand und Free Flight.**

Der Wert von etwa 1.4 Milliarden Schweizer Franken Ersparnis auf sämtlichen Interkontinentalflügen von und nach Europa berücksichtigt dabei nur den Wert der eingesetzten Ressourcen und enthält keine Opportunitätskosten für Passagiere, Besatzungen und Flugzeuge. Diese zu ermitteln, würde weitere hohe Kosten ergeben, ist jedoch enorm schwierig, weshalb hier darauf verzichtet wird.

Die Strecke mit den weltweit meisten Verbindungen pro Woche ist Barcelona – Madrid mit 971 wöchentlichen Verbindungen, was etwas mehr als 50'000 Flügen pro Jahr entspricht.<sup>5</sup> Eine konservative Hochrechnung, ohne detaillierte Kenntnisse der Strecke aber mit den Werten aus der Kontinentalstudie, ergibt eine jährliche Ineffizienz von etwa 1'400'000 zusätzlichen Kilometern, was ca. 35 Erdumrundungen entspricht. Bei vorsichtiger Rechnung resultieren daraus jährliche Zusatzkosten von etwa 10 Millionen Schweizer Franken.<sup>6</sup>

<sup>4</sup> <http://www.oag.com/>.

<sup>5</sup> <http://www.oag.com/>.

<sup>6</sup> Berechnung im Anhang Kapitel D.II.

Zu bedenken ist dabei, dass sämtlichen genannte Werte für ein Jahr ermittelt wurde, die Vorteile von Free Flight aber bis „in alle Ewigkeit“ existieren würden. Eine umfassende Betrachtung müsste dieses Potenzial also über die Jahre der Zukunft summieren, was ein Vielfaches dieser Werte ergeben würde. Darauf wird hier jedoch verzichtet.

## **1.2 Aktuelle Trends zur Verbesserung der Effizienz**

Die Anstrengungen zur Verbesserung der Effizienz sind heute stärker denn je, verursacht durch die Höchststände der Kerosinpreise und einem stärker werdenden ökologischen Bewusstsein. Ökonomische Interessen stehen aber seit jeher im Vordergrund, was heute durch den verstärkten Kostendruck noch akzentuiert wird.

AO versuchen mittels ökonomischer Optimierung ihrer Flugzeuge (Anzahl Sitzplätze, operationelle Verfahren, Wahl der Triebwerke und Flugzeugmuster, etc.) die Kosten zu reduzieren. Gleichzeitig wird versucht, die Flugrouten weiter zu optimieren, wie das Beispiel von Osaka gezeigt hat. Die IATA und ICAO spielen dabei wichtige Rollen. Die Einführung von RVSM, neuen Routen und RNAV-Verfahren, Verschärfung der RNP-Anforderungen und weiteren Verbesserungen führten und führen ständig weiter zu einer effizienteren Routenstruktur und deren optimalen Nutzung (Kapazität).<sup>7</sup>

In Europa führt EUROCONTROL diverse Projekte zur Verbesserung der Effizienz von Flugrouten durch. Dazu zählen: Einrichtung neuer Airways, Bemühen um die erweiterte Verfügbarkeit von Conditional Routes (Strecken, welche nur unter bestimmten Bedingungen fliegar sind) und die Harmonisierung des Europäischen Luftraumes im Rahmen der SES Initiative. EUROCONTROL strebt eine Reduktion der Ineffizienz um 15 – 20% in den nächsten 5 Jahren innerhalb Europas an und bezeichnet dies als realistisches Ziel.<sup>8</sup>

Während all diese Verbesserungen des heutigen Zustandes mehr oder weniger von der Annahme ausgehen, dass diese Ziele mit den derzeit verfügbaren Verfahren und Hilfsmitteln umzusetzen sind, ist der Ruf nach Free Flight als dem neuen System der Flugsicherung unüberhörbar. Als kleinen Schritt in Richtung Free Flight kann gesehen werden, dass auf der Basis von RNAV-Verfahren bereits heute bestimmte Strecken unabhängig

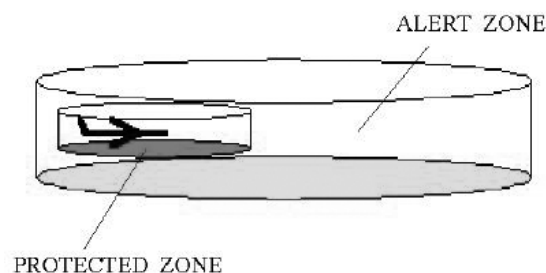
---

<sup>7</sup> IATA Annual Report (2004): S. 24f.

<sup>8</sup> CFMU Network Operation Plan Summer 2007, Kapitel 16.

der bestehenden Luftstrassen befliegen werden. Mehrere Free Flight Projekte zeugen vom Bestreben, die Flugsicherung in eine neue Phase über zu leiten. In den USA wurde anstelle von Free Flight der Begriff *Next Generation Air Transportation System (NGATS)* gewählt. NGATS basiert auf acht wesentlichen Voraussetzungen und soll eine Verbesserung von Sicherheit, Effizienz und Umweltverträglichkeit bringen. Die Einführung ist ab 2025 geplant und entspricht weitgehend einem Free Flight.

NGATS bringt eine Verschiebung des ATM von der alleinigen Zuständigkeit des klassischen Lotsen hin zu den Flugzeugbetreibern (Besatzung an Bord von Flugzeugen und für die Flugplanung zuständige Einheit am Boden). Free Flight Bedingungen sind für weite Bereiche des Luftraumes vorgesehen, jedoch werden weiterhin klassische Lufträume in Gebieten mit hohem Verkehrsaufkommen und insbesondere in den TMAs existieren. Voraussetzung für den Free Flight sind über ihrer Genauigkeit definierte technische Neuerungen verschiedenster Art. Wichtigstes Thema ist dabei die Separation, welche heute nahezu allein von der Flugsicherung organisiert wird. Die Einführung eines Systems, welches ein eigenständiges Einhalten von Abständen zu anderen Flugzeugen garantiert, ist eine wesentliche Neuerung, welche als Voraussetzung für Free Flight betrachtet wird. Das heutige TCAS<sup>9</sup> erfüllt diese Funktion entgegen weit verbreiteter Meinung nicht. Ein neues System muss auf der konstanten Berechnung von 4D Trajektorien basieren (TBO – Trajectory Based Operations) und erkennt so potenzielle Konflikte frühzeitig. Kern der Idee für solche Systeme ist die Definition einer Warn-Zone (Alert Zone) und einer Schutz-Zone (Protected Zone). Diese Zonen definieren den Bereich, den das Flugzeug auf Grund seiner Navigationsgenauigkeit (3D sowie zeitlich) beansprucht und der damit nicht gleichzeitig von weiteren Flugzeugen benutzt werden kann. Dies ist in Abbildung 3 graphisch dargestellt.



**Abbildung 3: Alert und Protected Zone als methodische Ansätze eines Systems zur eigenständigen Separation.**<sup>10</sup>

<sup>9</sup> Traffic Alert and Collision Avoidance System

<sup>10</sup> Free Flight Conflict Resolution Simulation (2007): S. 8

Die Information über die 4D Trajektorien sämtlicher Flugzeuge müssen dabei automatisch ausgestrahlt werden, sodass andere Flugzeuge diese empfangen und auswerten können. Treffen sich zwei Warn-Zonen, so ist die Situation als potenziell gefährlich einzustufen. Spätestens bei Aufeinandertreffen von Schutz-Zonen muss eines der Flugzeuge (oder beide) den Flugvektor ändern, um die Gefahr einer Annäherung (oder Zusammenstoss) zu verhindern und damit die Separation zu gewährleisten. Die Berechnung und Verhandlung der 4D Trajektorien wird ein wichtiges Thema für Free Flight werden. Dabei nimmt die Genauigkeit von Navigation und Berechnung der Trajektorien einen zentralen Stellenwert für ein funktionierendes System ein. Der Nachweis vollständiger Sicherheit wird dabei vorerst erbracht werden müssen.

Die automatische Ausstrahlung von 4D Trajektorien steht dabei nur für ein Element des Informationsaustausches, welcher fortschreitend automatisch abgewickelt werden wird. Die Reduktion von mündlicher Kommunikation und der Fokus auf automatisierten Datenaustausch und -darstellung setzt Kapazitäten sowohl im Cockpit als auch bei der Flugsicherung frei. Diese freie Kapazität kann für Aufgaben der Flugsicherung sowie eine ständig optimierte Flugwegplanung verwendet werden. Heutige Cockpits haben in der Regel keine Möglichkeit, den umliegenden Verkehr vollständig zu erfassen und darzustellen. ADS-B ist eine erste Form von automatischer Datenübermittlung, wobei diese ohne Abfrage erfolgt. Zukünftige Systeme werden aber auch spezifische Anfragen und Bewilligungen automatisiert austauschen können.<sup>11</sup>

Die Resultate der beiden Studien werfen insgesamt ein positives Licht auf die Effizienz von Flugrouten. Gängige Meinungen zu diesem Thema gehen von wesentlich grösseren Ineffizienzen aus. Die Reduktion von Verspätungen und mögliche Verbesserungen im Bereich der TMA stellen weitere wesentliche Parameter für die Optimierung der Effizienz von Flügen dar, wurden aber in dieser Studie nicht berücksichtigt. Die Hochrechnungen für einen kleinen Teil des weltweiten Flugverkehrs haben ein eindrückliches Potenzial an Einsparungen aufgezeigt und favorisieren somit in jedem Fall eine baldige Einführung von Free Flight Bedingungen. Die Einsparungen aus Free Flight ähnlichen Zuständen werden gemäss diesen Hochrechnungen die Kosten der Implementierung von Free Flight vermutlich bereits nach wenigen Jahren übertreffen. Die technischen Voraussetzungen müssen, wie bereits erwähnt, dafür erst noch geschaffen werden. Weitere Probleme und

---

<sup>11</sup> Concept of Operations for the Next Generation Air Transportation System (2007)

Einschränkungen werden die Einführung von Free Flight als globale Verfahrensweise erst in einer Zeit ermöglichen, die noch nicht absehbar ist. Eine schrittweise Einführung beispielsweise auf ozeanischen Strecken ist jedoch mittelfristig denkbar. Dabei ist die Sicherheit nach wie vor und unbestritten wichtigstes Kriterium. Einzelne Probleme wie militärische Lufträume, wetterbedingte Phänomene oder politische Konflikte werden nie komplett auszuschliessen sein und stets zu Abweichungen vom idealen Free Flight Flugweg führen. Ein stark verbesserter Informationsaustausch wird aber die Auswirkungen dieser Hindernisse in Zukunft verringern, da eine frühzeitige Berücksichtigung in der Phase der Flugplanung ein hohes Mass an Optimierung dennoch zulassen wird.