

# Abschlußbericht

Qualitätsbeurteilung des  
FAA-Gutachtens:  
„An Investigation of the Present and Potential  
Future Capacity of Frankfurt am Main  
International Airport“



August 1999

Lic. phil. Cornelia Hüttenmoser  
Büro für Soziologische Grundlagenforschung  
und Entwicklungsplanung  
Schaffhauserstr. 315  
CH-8050 Zürich  
Tel. (41) 1 312 75 23  
Fax (49) 403 603 272 486  
Email: connyhuemo@aol.com

Dipl. Ing. Franz Knabe  
DLR Institut für Flugführung  
Abteilung Verkehrssystemtechnik  
Lilienthalplatz 7  
D-38108 Braunschweig  
Tel: (49) 531 295 2496      Secretary 2571  
Fax (49) 531 295 2899  
Email franz.knabe@dlr.de

ir. H.A.J.M. Offerman  
Head Airports Department  
Air Transport Division  
National Aerospace Laboratory NLR  
P.O.Box 90502  
1006 BM, Amsterdam  
The Netherlands  
Tel. (31) 20 511 36 25  
Fax (31) 20 511 32 10  
Email offerma@nlr.nl

Dr. Johannes Reichmuth  
DLR Institut für Flugführung  
Abteilung Verkehrssystemtechnik  
Lilienthalplatz 7  
D-38108 Braunschweig  
Tel: (49) 531 295 2570      Secretary 2571  
Fax (49) 531 295 2899  
Email Johannes.Reichmuth@dlr.de

Dr. Carl Oliva  
Büro für Soziologische Grundlagenforschung  
und Entwicklungsplanung  
Schaffhauserstr. 315  
CH-8050 Zürich  
Tel. (41) 1 312 75 19  
Fax (49) 403 603 212 693  
Email carloliva@aol.com

**Authorisierte Version der Gutachter: Dr. Carl Oliva, Büro Oliva (Zürich), Dr. Johannes Reichmuth, DLR (Braunschweig) und Dipl.Ing. Hans Offerman, NLR (Amsterdam)**

Bericht im Auftrag der Mediationsgruppe Frankfurt a.M., 1999.

Abgefasst von: lic.phil. Cornelia Hüttenmoser, Dipl.Ing. Franz Knabe, Dipl.Ing. Hans Offerman, Dr. Carl Oliva, Dr. Johannes Reichmuth

Photographie Umschlagseite: Flughafen Frankfurt am Main (Copyright FAG)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>3</b>
<b>1. Executive Summary</b> .....	<b>4</b>
<b>2. Beurteilung nach Qualitätskriterien</b> .....	<b>6</b>
2.1 Vorbemerkungen .....	6
2.2 Plausibilität der Annahmen .....	7
2.3 Methodik .....	9
2.4 Nachvollziehbarkeit .....	11
2.5 Vollständigkeit und Konsistenz .....	11
2.6 Plausibilität der Schlussfolgerungen .....	12
<b>3. Abschliessende Bewertung</b> .....	<b>13</b>
3.1 Bewertungsgrundlage .....	13
3.2 Generelle Bewertung .....	14
3.3 Weiterführende Empfehlungen .....	15
<b>4. Verlauf der Qualitätssicherung</b> .....	<b>16</b>

# 1. Executive Summary

Die Experten der Qualitätssicherung sind von der Mediationsgruppe beauftragt worden, einen Kommentar zu dem Gutachten der FAA zu schreiben und dem Arbeitskreis Verkehr für Fragen und Diskussionen zur Verfügung zu stehen.

Die Qualitätssicherung für das FAA-Gutachten durch Büro Oliva, DLR und NLR ergibt folgende Ergebnisse:

1. Die Qualitätssicherer unterstützen die Aussagen der Studie bezüglich der Reihenfolge der Varianten und der gegebenen Abschätzungen zu ihrem jeweiligen Potential, eine Bahnkapazität von 120 Bewegungen pro Stunde oder mehr zu ermöglichen. Die absoluten Kapazitätswerte der einzelnen Varianten sollten jedoch nicht ohne zusätzliche Untersuchungen in das reale System z.B. zur Ermittlung von Koordinationseckwerten übertragen werden.
2. Die für die Studie ausgewählte Varianten (einschließlich der im Verfahren hinzugenommenen) decken einen weiten Bereich möglicher Bahnkonfigurationen ab.
3. Das verwendete Verfahren in Form einer Simulation mit dem Modell RDSIM (Runway Delay Simulation Model) mit anschließender Kapazitätsberechnung ist bei der FAA allgemein üblich und der Fragestellung angemessen.
4. Die in die Studie eingegangenen Parameter zur Modellierung des Flughafensystems sind bezüglich Verkehrszusammensetzung und Staffeln nachvollziehbar. Hinsichtlich der Anfluggeschwindigkeiten und der Verteilung der Landungen auf alte und neue Bahnen wären auch andere Werte denkbar gewesen. Nach Abschätzung der Qualitätssicherer sollten diese anderen Werte aber keine wesentlichen Auswirkungen auf Reihenfolge der Varianten und relative Lage zur 120er Grenze haben.

Aus den Ergebnissen der Studie geben die Qualitätssicherer folgende Empfehlungen:

- ◆ Die Varianten 9, 9a, (10), 11, 11a, 12 und 14 sollten detaillierter untersucht werden unter Einbeziehung des umgebenden Luftraums, des Rollverkehrs, und der Bodeninfrastruktur auf dem Flughafen und im näheren Umfeld.
- ◆ Sehr wichtig ist hierfür, Kriterien aus den Bereichen Sicherheit, Umwelt, Kapazität und Kosten/Nutzen in ein Verhältnis zueinander zu setzen.
- ◆ Basis aller weiterführenden Untersuchungen sollten - „Fast Time Simulation“ Modelle mit der Möglichkeit sein, gegenwärtige und zukünftige Operationen mit hoher Vorhersagegenauigkeit zu simulieren.
- ◆ Für eine Kapazitätsmaximierung sollte bei weiterführenden Untersuchungen eine optimierte Verteilung der Bewegungen auf die Bahnen berücksichtigt werden. Insbesondere bei den Varianten

9a, 9b, (10) könnte die neue Nordbahn stärker für Landungen genutzt werden.

Die Kapazitätswerte der Varianten mit PRM sind als Obergrenzen zu betrachten und müssen mit Vorbehalt bedacht werden, denn es liegt für das PRM-Verfahren zur Zeit noch keine Zertifizierung und Zulassungsbewilligung vor. Unter der Bedingung der spezifischen Konfiguration des PRM für den Flughafen Frankfurt a.M. könnten die Kapazitätswerte auch tiefer ausfallen.

## 2. Beurteilung nach Qualitätskriterien

### 2.1 Vorbemerkungen

Aufgabe des vorliegenden Berichtes war die Durchführung einer Qualitätssicherung des von der Flughafen AG Frankfurt am Main (FAG) in Auftrag gegebenen Gutachtens über mögliche Varianten der Nutzung des Starts- und Landebahnsystems des Flughafens Frankfurt a.M. Der Auftrag der FAG an die Federal Aviation Administration (FAA) bestand darin, Varianten der Benutzung von vorhandenen und möglichen neuen Start- und Landebahnen zu untersuchen, die eine Stundenkapazität von insgesamt 120 Starts und Landungen ermöglichen. Dieser Auftrag an die FAA beschränkte sich auf die Berechnung der reinen Pistenkapazität („Betonkapazität“), ohne den entsprechenden Luft- und Rollwege in die Analyse einzubeziehen.

Ursprünglich wurden hauptsächlich 11 Varianten zur Kapazitätsverbesserung betrachtet. Im Laufe der Bearbeitungszeit sind, nach Abschluss der Projektarbeit des FAA-Teams, von der Mediationsgruppe drei zusätzliche Szenarien vorgeschlagen worden. Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse im Überblick:

Die von der FAA untersuchten Varianten

Nr.	Bezeichnung	Kapazität pro Stunde	
		Gegenwart	Zukunft
1a	Derzeitiger Zustand	80	76
1b	1a mit PRM <sup>a</sup>	96	88
2	Südl. Parallelbahn (1035m) mit PRM	114	101
2a	Südl. Parallelbahn (305m), Verschiebung 18, PRM	102	92
2b	Spreizung heutige Parallelbahn (1035m), PRM	114	108
3	Südl. Parallelbahn (1525m)	112	99
4a	Konvergierende Bahn (innerhalb FAG-Gelände)	94	87
4b	Konvergierende Bahn (ausserhalb FAG-Gelände)	93	88
5	Konvergierende Bahn im Norden	96	92
6	Landung S-/L-Bahn 18 West	86	82
6a	Landung L-Bahn 36 West	48	48
7	Westl. Parallelbahn zu S-Bahn 18 West	103	94
8	Landebahn Ost	94	87
9a	Landebahn Nord (Ostlage)	139	120
9b	Landebahn Nord (Westlage)	139	120
10	Landebahn Nord (z.T. auf FAG-Gelände)	139	120
11	Wiesbaden-Erbenheim	123	110
11a	Wiesbaden-Erbenheim, PRM	136	120
12	Zwei südl. Parallelbahnen, ohne S-Bahn 18West	150	140
13	Südl. Parallelbahn, ohne S-Bahn 18 West	116	109
14	Südl. Parallelbahn, mit Erbenheim, ohne 18 West	166	148

Anmerkungen.— a) PRM: Precision Runway Monitor

Die Experten der Qualitätssicherung sind beauftragt worden, einen Kommentar zu dem Gutachten der FAA zu schreiben und dem Arbeitskreis Verkehr für Fragen und Diskussionen zur Verfügung zu stehen. Insbesondere ist von der Mediationsgruppe und vom Arbeitskreis Verkehr die Frage gestellt worden: Sind tatsächlich nur eine Nord-

bahn (Varianten 9a, 9b und 10) bzw. die zusätzliche Nutzung von Wiesbaden-Erbenheim (Variante 11a) in der Lage, den Kapazitätswert von 120 Start- und Landebewegungen zu erreichen (diese Frage wurde gestellt, als erst die Varianten 1 bis 11 durch die FAA bewertet waren)?

Der Qualitätssicherung wurden die folgenden spezifischen Fragen gestellt:

- ◆ *Die Auswahl der Varianten:* Ist die Aussage gerechtfertigt, es gebe keine weiteren denkbaren und sinnvollen Varianten? Sind Kombinationen von Varianten denkbar und sinnvoll weiterzuerfolgen?
- ◆ *Die Auswahl des Modells:* Ist das angewendete Simulationsmodell gebräuchlich und entspricht es den Anforderungen?
- ◆ *Die Modellierung der Randbedingungen:* Sind die zugrundegelegten Randbedingungen hinsichtlich ATC, Verzögerung von 4 Minuten, Flottenmix, Bahnbetrieb, Abhängigkeit / Unabhängigkeit des Betriebs paralleler Bahnen sinnvoll?
- ◆ *Sensitivität der Randbedingungen:* Die FAA hat zwei Faktoren variiert, den Flottenmix und das Anflugleitsystem (mit PRM bzw. ohne PRM). Sind die vorgenommene Variation von Faktoren ausreichend? Ist eine Sensitivitätsanalyse machbar?
- ◆ *Verknüpfung von Sensitivitätsanalyse und Bahnpositionierung:* Ist durch eine Variation möglicherweise mehrerer Randbedingungen und durch neue Positionierung einer neuen Bahn ein deutlich anderes Ergebnis zu erwarten?
- ◆ *Fehlerbandbreite:* Wie gross ist die Fehlerbandbreite des Simulationsmodells?

Die Mediationsgruppe hat diesbezüglich eindeutig festgelegt, dass die bestehende Infrastruktur keine begrenzende Wirkung auf die Variationsuche haben soll.

### **2.2 Plausibilität der Annahmen**

Um die Simulationen der Pistenkapazität durchführen zu können, wurden bestimmte Eingabedaten benötigt, die den Flughafen Frankfurt angemessen abbilden. Hierzu zählen insbesondere die Bezugsgrößen: Ziel der Untersuchung, Flottenmix, Klassifikation der Flugzeugtypen, Flugoperationen, einschliesslich Flugzeugseparationen, sowie die gegenseitige Abhängigkeiten von Start- und Landebahnen, Wetterrahmenbedingungen.

*Ziel der Untersuchung:* Der Flughafen Frankfurt setzt sich eine Pistenkapazität von 120 Flugbewegungen pro Stunde bei einer durchschnittlichen Verspätung von 4 Minuten. zum Ziel. Unter den europäischen Flughäfen besteht zur Zeit eine verschärfte Situation der Konkurrenz und Kooperation, so dass ein Flughafen wie Frankfurt gegen-

über seiner Kundschaft die Verantwortung übernehmen muss, alle Anstrengungen zu unternehmen, um zukünftig nicht an Wettbewerbsposition zu verlieren. Ein wesentlicher Faktor, der die Wettbewerbsposition eines Flughafens bestimmt, ist die stündliche Pistenkapazität. Demzufolge ist die Festlegung eines Kapazitätshorizontes, wie er auch für Flughäfen wie Paris-Charles de Gaulles oder Amsterdam Schiphol anvisiert wird, als Vorgabe für das FAA-Gutachten nachvollziehbar. Diese Vorgaben beruhen auf vorangehende Abklärungen der FAG, die im Dokument der FAG „FRA 2000 PLUS“ dokumentiert sind.

*Klassifikation der Flugzeugtypen:* Jede der untersuchten Varianten wurden für den gegenwärtigen und einen zukünftigen Flottenmix gerechnet. Die Kriterien für die Einteilung der Flugzeugtypen zu bestimmten Kategorien ergeben sich aus der Problemstellung, d.h. im vorliegenden Falle aus den Abständen zwischen zwei Flugzeugtypen im Landeanflug. Diese Klassifizierung der Flugzeugtypen berücksichtigt das maximale, von den Flugzeugherstellern zertifizierte Startgewicht und Flugeigenschaften der Flugzeugtypen. Es werden drei Kategorien unterschieden.

- ◆ Flugzeugtypen der Kategorie „heavy“ mit einem maximalen, zertifizierten Startgewicht von 136'000 kg oder mehr. Diese Kategorie entspricht Flugzeugtypen wie der B747, A310, B767, A340, MD11.
- ◆ Flugzeugtypen der Kategorie „medium / large“ mit einem maximalen, zertifizierten Startgewicht von weniger als 136'000 kg, jedoch mehr als 7'000 kg. Diese Kategorie entspricht Flugzeugtypen wie der A320, B737, DC9/MD80, SF340.
- ◆ Flugzeugtypen der Kategorie „light/ small“ mit einem maximalen, zertifizierten Startgewicht von 7'000 kg oder weniger; das entspricht den Flugzeugtypen der CNA441, DHC6.

Diese Klassifizierung der Flugzeugtypen entspricht einer für die Fragestellung üblichen Einteilung.

*Flottenmix:* Der Flottenmix wird definiert als das Verhältnis zwischen den drei erwähnten Kategorien. Bei der Besetzung der einzelnen Gewichtsklassen wird von zwei Eckpfeilern ausgegangen: Einerseits werden die Varianten gemäss dem Flottenmix der Gegenwart (Jahr 1998) untersucht (heavy 26% : medium 73% : light 1%) und andererseits wird, als Kontrast dazu, ein Flottenmix gewählt, der eine strukturelle Veränderung zu Gunsten des Anteils der Grossraumflugzeuge der Kategorie „heavy“ widerspiegelt (heavy 37% : medium 62% : light 1%). Die Zusammensetzung des Flottenmix stützt sich auf Annahmen der Planung des Flughafens Frankfurt und der Lufthansa, als dem grössten Kunden der FAG.

Während die FAA auf der Basis der Angaben von FAG und Lufthansa von einem gegenwärtigen und einem zukünftigen Flottenmix ausgeht, erscheinen beide Flottenmixe für die Zukunft vorstellbar. Im einen Fall ist von einem Wachstum der Flugzeugbewegungen nach Vorgabe des aktuellen Flottenmix auszugehen. Im anderen, kontrastierenden Fall ist ein grösserer Anteil der Grossraumflugzeuge vorstellbar – hier ist nicht nur eine Zunahme der Flugbewegungen, sondern ebenfalls eine Veränderung des Flottenmix zu erwarten. Die Veränderung des Flottenmix entspricht einer konsequenten Entwicklung des Flughafens Frankfurt a.M. zu einer globalen Drehscheibe („Hub“) des Zivilluftver-

kehrts. Die Analyse dieser zwei Fälle beschreibt zwei mögliche Entwicklungsrichtungen des Flughafens Frankfurt a.M.. Die reale Entwicklung dürfte zwischen diesen beiden Varianten zu erwarten sein.

*Flugoperationen und Kalibrierung:* Die entsprechenden Flugoperationen, die „hinter“ den simulierten Varianten stehen, wurden mit der FAG und der DFS abgesprochen. Alle flugoperationellen Parameter, die zur Berechnung der Pistenkapazität notwendig sind, wurden auch für den gegenwärtigen Betrieb (Jahr 1998) untersucht. Der Vergleich zwischen der Simulation des aktuellen Flugbetriebs mit dem tatsächlichen, in der Statistik ausgewiesenen Flugbetrieb zeigt eine sehr gute Übereinstimmung (heutiger Koordinationseckwert von 78 Bewegungen pro Stunde gegenüber simuliert 80 Bewegungen pro Stunde). Damit ist das Simulationsverfahren für den Flughafen Frankfurt a.M. in der Größenordnung richtig. Weitere Aspekte der Kalibrierung zählen zur Weiterentwicklung des Modells, jedoch nicht zur reinen Anwendung, wie das im zur Diskussion stehenden Gutachten der FAA der Fall ist.

Die Simulation der Pistenkapazität bilden (wie in jeder Simulation) ideale Verhältnisse ab. Insbesondere soll deshalb auf die Varianten verwiesen werden, deren Landeverfahren mit Hilfe des Precision Runway Monitor (PRM) simuliert worden ist. Das PRM-Verfahren ist zur Zeit in Frankfurt noch nicht eingeführt. Es können deshalb noch keine eindeutigen Aussagen zur Kapazitätssteigerung gemacht werden. Genauere Aussagen können erst gegeben werden, wenn die Details einer Einpassung des Verfahrens in das komplexe Frankfurter System erarbeitet sind. Die von der FAA aufgrund der richtig angenommenen PRM Eigenschaften abgeschätzten Kapazitätswerte sind aus diesem Grunde wahrscheinlich als obere Grenze anzusehen.

*Wetterrahmenbedingungen:* Um im Simulationsmodell die Wetterverhältnisse in Frankfurt möglichst realistisch abbilden zu können, mussten dafür entsprechende Modellannahmen getroffen werden. Einerseits wurde angenommen, dass die Betriebsrichtung Ost (Landung von Westen und Starts mit Richtung Ost) zu 30 Prozent und die Betriebsrichtung West (Landung von Osten und Starts mit Richtung West) zu 70 Prozent der Betriebsdauer zutrifft. Andererseits wurde angenommen, dass die Landungen unter Instrumentenflugbedingungen ILS CAT I verwirklicht werden können. Damit wird ein Anflug bis zu einer Entscheidungshöhe von 60 m und einer Pistensichtweite von 550 m sichergestellt. Der Flughafen Frankfurt a.M. ist auf den Start-/Landebahnen 07L/25R und 07R/25L mit CAT III ausgerüstet. Damit wird eine Pistensichtweite von 200 m sichergestellt. Die mit CAT I simulierte Kapazität kann in Frankfurt a.M. (laut Auskunft der FAG) lediglich in 0,35% aller Betriebsstunden **nicht** eingehalten werden. Das ist die Voraussetzung, weshalb die FAA nur mit CAT I-Bedingungen gerechnet hat.

### 2.3 Methodik

Um für den Flughafen Frankfurt die gesuchte Kapazität einer bestimmten Variante zu berechnen, wurde das Simulationsmodell RDSIM (Runway Delay Simulation Model) eingesetzt. Dieses Modell simuliert Operationen auf den Start- und Landebahnen und erhält die Kapazität über die Berechnung des bewältigten Verkehrs (flow) und der zugehörigen Verspätung (delay). Es berücksichtigt den Anflug-

pfad (approach path), die Start- bzw. Landebahn (runway), die Ausgänge zu den Rollbahnen (runway exits) für ankommende Flugzeuge, die Startbahnen (runway for departures), sowie einige Effekte des den Flughafen näher umgebenden Luftraumes (adjacent airspace) auf die Startbewegungen. Dieses Modell erzeugt, so kann man sich die Rechenprozedur bildlich vorstellen, nach statistischen Kriterien (Zufallsprinzip) Starts und Landungen, um anhand dieser Ereignisse die entsprechende „Durchlauf“-Kapazität des Start-Landebahn-Systems zu errechnen. Hierfür ist eine Verteilung der vom Zufallsgenerator erzeugten Flugzeugbewegungen von 50 Prozent Landungen und 50 Prozent Starts vorgegeben worden. Die Resultate werden pro Stunde berechnet.

Die angewandte Methode (Simulation mit dem Programm RDSIM) ist angemessen, denn es gehört beim FAA zum üblichen und auch bewährten Verfahren. Diese Vorgehensweise ist geeignet, für das Bahn-system des Flughafens Frankfurt a.M. (mit einem Zielwert von 120 Bew./Stunde bei 4 Minuten durchschnittlicher Verspätung) Varianten von Start- und Landebahnkonfigurationen zu berechnen und deren Kapazitätswerte zu vergleichen. Es entspricht vollumfänglich den Anforderungen.

Die wesentlichen Eingabedaten, welche die Eigenheit des Flughafens Frankfurt ausmachen (z.B. Belegungszeit der Start- und Landebahnen, Wahrscheinlichkeit des Verlassens der Start- und Landebahnen etc.) wurden aufgrund der statistischen Beschreibung des Flughafens bestimmt und sind somit von der FAG zugänglich gemacht worden. Die bereits erwähnten Annahmen über das Precision Runway Monitor-System (PRM), sowie die konkrete Programmierung des RDSIM wurden von der FAA festgelegt. Sie entsprechen den in der Zivilluftfahrt üblichen Standards.

Dabei stellt sich auch die Frage der Vorhersagegenauigkeit bzw. des Vorhersagefehlers. Von den Eingabedaten her gesehen sind die Streubreiten angemessen.

Es ist nachvollziehbar, dass die FAA innerhalb der Modellvoraussetzungen nur zwei Faktoren variiert hat, den Flottenmix und das Anflugleitsystem. Bei der Aufgabenstellung der FAA ist der wesentliche Gesichtspunkt, vergleichbare Resultate aus Simulationsexperimenten zu erhalten. In jedem Experiment wird versucht, einen Stimulus (hier die Bahnkonfiguration der Varianten 1 bis 14) mit einer Antwort (Kapazität pro Stunde) bei sonst gleichen Bedingungen (Abbild des Flughafens im Modell) zu vergleichen. Unter dieser Voraussetzung sind vergleichbare Resultate garantiert.

## **2.4 Nachvollziehbarkeit**

Die Angaben, um die errechneten Kapazitätswerte nachvollziehen zu können, liegen in verschiedenen Teilen des Berichtes zusammengestellt vor. Insbesondere ist hierfür der technische Appendix des Endberichtes hilfreich. Darin sind die Eingabedaten zur Konfigurierung des Simulationsmodells für den Flughafen Frankfurt a.M., die Daten zur Festlegung der operationellen Prozeduren und sodann die Daten über die gegenwärtigen und zukünftigen Varianten enthalten. In einem weiteren Kapitel sind die Resultate der Kapazitätsberechnungen für die einzelnen Szenarien enthalten. Bei Kenntnis der entsprechenden Verfahren genügen die vorgelegten Angaben, um die Richtigkeit der Ergebnisse in ihrer Größenordnung bestätigen zu können. So gesehen ist jede der untersuchten Varianten mit kontrollierbar. Die im Endbericht enthaltenen Angaben belegen, dass die Studie der FAA den Ansprüchen der Qualitätssicherung entsprechen.

## **2.5 Vollständigkeit und Konsistenz**

Die Studie der FAA hatte insgesamt 21 Varianten untersucht. Eine davon bezieht sich auf den aktuellen Zustand (Variante 1a) des Flughafens Frankfurt a.M. Die anderen ergeben sich durch die Kombination mit folgenden weiteren Elementen:

- Optimierte Anflugverfahren (z.B. PRM)
- Neue, parallele Start- und Landebahn (abhängige bzw. unabhängige)
- Verlängerung der Startbahn West
- Neue, konvergierende Start- und Landebahn
- Mitbenutzung des Flughafens Wiesbaden-Erbenheim
- Verteilung der An- und Abflugoperationen auf die S/L-Bahnen
- Flottenzusammensetzung (heute 26:73:1 vs. zukünftig 37:62:1 –heavy:medium:light-)
- Pistenbenutzungskonzept (Verteilung der Flugzeugkategorien, sowie der Starts und Landungen auf die einzelnen Bahnen)

Damit erschöpft sich der Umfang der wesentlichen Kombinationselemente, mit denen neue Varianten zusammengefügt werden können. Alle weiteren Varianten wurden in der einen oder anderen Form bereits untersucht. Mit dem vorliegenden Endbericht, bis und mit Variante 14, lässt sich bestätigen, dass die Möglichkeit, weitere sinnvollen Varianten zu untersuchen, ausgeschöpft worden ist. In diesem Sinne sind auch nicht vordringlich Kombinationen von Varianten weiterzuverfolgen, sondern die Varianten mit Kapazitätswerten von 120 und mehr Flugzeugbewegungen pro Stunde.

## ***2.6 Plausibilität der Schlussfolgerungen***

Die wesentlichste Schlussfolgerung ist die: Es gibt für den Flughafen Frankfurt a.M. Varianten, welche unter den gegebenen Annahmen einen Kapazitätswert von 120 Flugzeugbewegungen pro Stunde erreichen bzw. überschreiten. Es handelt sich um die Varianten 9, 9a, (10), 11, 11a, 12 und 14.

Wie weiter vorne schon erwähnt worden ist, sind die berechneten Kapazitätswerte der Varianten mit PRM als Obergrenzen zu betrachten. Unter der Bedingung der spezifischen Konfigurierung des PRM für den Flughafen Frankfurt a.M. könnten die Kapazitätswerte auch tiefer ausfallen.

Das gegenwärtige Verkehrsvolumen des Flughafens Frankfurt a.M. sollte, um die Nachfrage zu erfüllen, gemäss Flugplankoordinator der Bundesrepublik Deutschland eine stündliche Kapazität von bis zu 100 Bewegungen (bei bis zu 60 Landungen) erfüllen. Die FAA-Studie zeigt damit, dass das gegenwärtige Verkehrsvolumen die praktische Kapazität des bestehenden Bahnsystems überschreitet, dass ein Kapazitätsdefizit besteht.

Alle Varianten zeigen bezüglich des gegenwärtigen Flottenmix die höhere Kapazität als bezüglich des zukünftigen Flottenmix. Diese Reduktion ergibt sich als Folge des grösseren Anteils an Langstreckenflugzeugen.

Zur Bewertung der einzelnen Varianten sind zusätzliche Kriterien notwendig, die im Qualitätsgutachten nicht vertieft untersucht worden sind. Es gibt hierfür eine Reihe von Kriterien, die im Zivilluftverkehr zur Anwendung gelangen, ohne dass sie allesamt schriftlich festgehalten werden. Diese scheinen auch dem FAA-Team bei der Bewertung der einzelnen Varianten als Hintergrund gedient zu haben. Einzelne davon sind unumstossbar, wie z.B. das Sicherheitsprinzip. Andere Bewertungskriterien können abgeändert oder beiseite gelassen werden, wenn zwischen den Interessenten der Sicherheit, des Verkehrs und der Flughafenanrainer ein Konsensus gefunden werden kann. Bei diesen Bewertungskriterien müssen zumindest Argumente eingebracht werden, wenn sie fallengelassen werden sollen.

- ◆ Bei der Bewertung der einzelnen Varianten muss die Frage der Sicherheit und der Hindernisfreiheit an oberster Stelle stehen.
- ◆ Ergänzungen des Flughafensystems sind wertvoller, wenn höhere Rollzeiten und Kreuzungen der rollenden Flugzeuge mit anderen Start- oder Landebahnen vermieden werden können.
- ◆ Ein weiterer zentraler Gesichtspunkt ist das Gleichgewicht zwischen Verkehr und Umwelt. Von zwei Varianten ist diejenige vorzuziehen, die weniger zusätzliches und ökologisch wertvolles Land verbraucht.
- ◆ Ergänzungen des aktuellen Flughafensystems sind wertvoller, wenn sie die bestehende Infrastruktur und somit die früheren Investitionen kumulativ ausnutzen. Von zwei Varianten mit ähnlicher Kapazität ist diejenige vorzuziehen, die vom aktuellen System ausgeht. Oder, von zwei Varianten ist diejenige vorzuziehen,

welche mit geringeren Investitionen das aktuelle System ergänzt und die angestrebte Kapazität erreicht.

- ◆ Ergänzungen des Flughafensystems sind wertvoller, wenn die Transportzeit für Personen und Gepäck minimal ist, bzw. Anschlüsse eingehalten werden können.

Die Bewertung der Varianten vor dem Hintergrund solcher Bewertungsmassstäbe führt für die FAA zum Resultat, die Varianten 9a und 9b allen anderen vorzuziehen.

### 3. Abschliessende Bewertung

#### 3.1 Bewertungsgrundlage

Basis der Bewertung ist der Abschlußbericht „An investigation of the Present and Potential Future Capacity of Frankfurt am Main International airport“ Darin sind die Ergebnisse der FAA-Untersuchung einer Studie enthalten mit dem Ziel „ausgehend von der Bestimmung der praktischen stündlichen Kapazität des existierenden Bahnsystems, Kapazitätspotentiale von möglichen Erweiterungen des Bahnsystems des Frankfurter Flughafens zu untersuchen. Hierzu wurden im ersten Schritt 11 verschiedene Konfigurationen untersucht, von denen einige noch in weiteren Untervarianten unterschieden wurden. Insgesamt wurden 18 verschiedene Konfigurationen betrachtet. Alle Konfigurationen wurden daran gemessen, ob es mit ihnen möglich sein würde, einen Zielwert für die Kapazität von 120 Bewegungen pro Stunde unter einem durchschnittlichem Verspätungsniveau von 4 Minuten pro Luftfahrzeug zu erreichen.

Im Verlauf der Qualitätssicherung wurden im Auftrag der FAG von der FAA in Übereinstimmung mit den Empfehlungen der Qualitätssicherung mit der gleichen Methodik drei weitere Konfigurationen untersucht. Die Ergebnisse liegen für die erste dieser Konfigurationen schriftlich als ein Addendum I zum FAA Gutachtens vor. Ein Addendum II, welches die beiden restlichen Konfigurationen beschreibt, wird zur Zeit erstellt. Die erhaltenen Kapazitätswerte für Gesamtbewegungen auch dieser Konfigurationen wurden vorab zur Verfügung gestellt.

Bei Durchführung der Qualitätssicherung entstandene Fragen nach im FAA-Ergebnisbericht nicht dokumentierten technischen Einzelheiten wurden von der FAA über Email soweit beantwortet, daß eine abschließende Bewertung durchgeführt werden konnte. Die Bewertungen durch die Qualitätssicherung beziehen sich ausschließlich auf die Bereiche der Studie, welche sich mit der Bestimmung der Bahnkapazität befassen.

### **3.2 Generelle Bewertung**

Die Qualitätssicherer konnten sich anhand der vorhandenen Unterlagen ein umfassendes Bild der durchgeführten Arbeiten machen, auch ohne das bei der FAA eingesetzte Simulationshilfsmittel RDSIM zur Berechnung der praktischen Kapazitäten zur Verfügung zu haben.

Das von der FAA verwendete Verfahren ist prinzipiell dafür geeignet, für beliebige Bahnkonfigurationen praktische Stundenkapazitäten zu bestimmen, um diese mit einem Zielwert von 120 Bewegungen pro Stunde zu vergleichen.

Die Studie wurde methodisch einwandfrei durchgeführt und ist intersubjektiv nachvollziehbar.

Sie ist von Form und Inhalt her als technischer Anwendungsbericht von Experten für Experten einzuordnen. Explizite Quellennachweise, wie sie z.B. in wissenschaftlichen Veröffentlichungen üblich sind, fehlen deshalb.

Die für die Berechnung der Kapazität durch die FAA zugrunde gelegten Annahmen sind bezüglich der meteorologischen Bedingungen einer Differenzierung nach Anteilen der Betriebsrichtungen Ost bzw. West zu 30% bzw. 70% zutreffend. Die Annahme von Instrumentenflugbedingungen unter ILS CAT I Bedingungen ist plausibel.

In den Berechnungen der Anflugstaffelungen wurden laut Zusatzantwort der FAA die Staffelungsabstände nach ICAO mit einem zusätzlichen Staffelungspuffer angenommen. Die Annahme eines Sicherheitspuffers bei Berechnung der Anflugstaffelungen (Interarrival Error im Bereich von 15 s, Unterschreitungswahrscheinlichkeit von 5%) ist üblich und allgemein akzeptiert. Die Verwendung der ICAO Staffelungsvorschriften ist bei Annahme von Instrumentenflugbedingungen Bedingung.

Die Verwendung von pauschal 160 kt Durchschnittsgeschwindigkeit bei einer Gleitfadlänge von 15-25 NM in den Simulationen ist für diese Strecke angemessen. Da für die Kapazitätsberechnung die durchschnittliche Anfluggeschwindigkeit im Endanflug entscheidend ist, hätten die Gutachter hätten eine Verwendung von 140-150 kt als Mittelwert in den Berechnungen bevorzugt. Dadurch würden die Anflugkapazitäten pauschal um etwa 10%-15% niedriger ausfallen. Dieser Effekt könnte aber durch die Einbeziehung künftiger Systeme zur Anflugunterstützung (Wirbelschleppenwarnsystem, HALS-DTOP, zeitgenauere Anflüge) kompensiert werden, da solche Systeme in der FAA-Studie noch nicht berücksichtigt wurden. An der durch die FAA ermittelten kapazitätsmäßigen Reihenfolge für die verschiedenen Konfigurationen würde sich auch damit voraussichtlich nichts wesentliches ändern.

Die Einteilung der Luftfahrzeuge nach den Wirbelschleppenkategorien Heavy, Medium und Light Luftfahrzeuge entspricht den ICAO-Standards.

Die Betrachtung eines Verkehrsmixes auf Basis des heutigen Verkehrs und eines zukünftigen Verkehrsmixes mit erhöhten Heavy-Anteil er-

scheint plausibel und ausreichend, die Bandbreite künftiger Entwicklungen abzudecken.

Die Aufteilung der Verkehrs auf die einzelnen Bahnen wurde nach Expertenmeinung des Flughafens und der FAA nach den betrieblichen Erfahrungen der Vergangenheit vorgenommen. Durch Sensitivitätsuntersuchungen der Konfigurationen bezüglich dieses Parameters wären bei einigen Konfigurationen durchaus höhere Kapazitätswerte vorstellbar. Das betrifft insbesondere die Varianten 9a und 9b, (10). Bei diesen Varianten wird die Kapazität der Nordbahn mit der angenommenen Verkehrsverteilung nicht voll ausgenutzt. Wir erwarten, daß sich die Gesamtkapazität dieser Varianten wesentlich erhöhen ließe, wenn eine neue Nordbahn stärker für Landungen genutzt würde. Dafür wären aber detaillierter Untersuchungen durchzuführen.

An künftiger zusätzlich möglicher technischer Ausstattung wurde der Einsatz eines Precision Runway Monitoring Systems (PRM) in die Studie mit einbezogen und in seinen Auswirkungen auf die Staffelung korrekt beschrieben. Die von der FAA bei der Berechnung der praktischen Kapazität verwendete Methode der mikroskopischen Schnellzeitsimulation zur Gewinnung von Verkehrsfluß und Verspätungswerten bei steigenden Verkehrsangeboten ist korrekt und angemessen und entspricht dem durch das Modell vorgegebenen Verfahren. Dies gilt ebenso für die Aggregation der Einzelergebnisse zu Gesamtkapazitätswerten. Auch die für einen Dauerbetrieb des Flughafens aus den berechneten Kapazitätswerten ermittelbare untere Abschätzung ergibt keine wesentliche Änderung der gefundenen Reihenfolge der Varianten.

Die FAA gab auf Nachfrage 2 bis maximal 6 Bewegungen als Standardabweichung für die Bewegungszahlen bezogen auf einzelne Bahnen an. Dies liegt in der Größenordnung eigener Berechnungen mit ähnlichen Modellen. Erfahrungsgemäß lassen sich damit bei gleichen Simulationsvoraussetzungen und Auswertungsverfahren Konfigurationen bis auf etwa ein bis zwei Bewegungen kapazitätsmäßig unterscheiden.

Insgesamt gesehen ist die Studie bezüglich der wichtigsten Annahmen und Rechengänge in sich konsistent. Das Problem der Kapazitätsabschätzung wurde für jede Konfiguration gelöst. Sie ist geeignet, die untersuchten Konfigurationen untereinander bezüglich Ihrer Kapazitätswirkung einzuordnen und erreicht damit Ihre Zielsetzung.

### ***3.3 Weiterführende Empfehlungen***

Empfehlung 1:

Die Varianten, welche das Ziel von 120 Bewegungen nach den Berechnungen der FAA erreichen, sollten im weiteren Verlauf einer detaillierteren Betrachtung unterzogen werden. Es sind dies die Ausbauvarianten des bestehenden Systems, wie es die Berechnungen durch die FAA zeigen über eine unabhängige Nordbahn, und das bestehende System unter Einschluß Wiesbaden-Erbenheims.

Empfehlung 2:

Auch die neu hinzugenommenen Varianten unter Schließung (vgl. Kommentar Kapitel 3.8) der Startbahn 18 bei Neubau eines unab-

hängigen Parallelbahnsystems im Süden („Atlanta“ Variante) und die Variante nur einer neuen Südbahn bei Nutzung von Wiesbaden-Erbenheim erreichten erwartungsgemäß in den Zusatzberechnungen der FAA das Ziel von 120 Bewegungen und sollten näher untersucht werden.

Empfehlung 3:

Die weiteren Untersuchungen sollten unter Einbeziehung des umgebenden Luftraums, des Rollverkehrs, und der Bodeninfrastruktur auf dem Flughafen und im näheren Umfeld durchgeführt werden.

Empfehlung 4:

Um die verbleibenden Varianten gegeneinander weiter zu bewerten, sollten hierfür Kriterien aus den Bereichen Sicherheit, Umwelt, Kapazität und Kosten/Nutzen in ein Verhältnis zueinander gesetzt werden.

Empfehlung 5:

Basis aller weiterführenden Untersuchungen sollten - „Fast Time Simulation“ Modelle mit der Möglichkeit sein, gegenwärtige und zukünftige Operationen mit hoher Vorhersagegenauigkeit zu simulieren.

Empfehlung 6:

Für eine Kapazitätsmaximierung sollte bei weiterführenden Untersuchungen eine optimierte Verteilung der Bewegungen auf die Bahnen berücksichtigt werden. Insbesondere bei den Varianten 9a, 9b und (10) könnte die neue Nordbahn stärker für Landungen genutzt werden.

## 4. Verlauf der Qualitätssicherung

Im Mai 1999 wurden die Herren Dr. Carl Oliva (Büro Oliva, Schweiz), Dipl.Ing. Hans Offerman (NLR) und Dr. Johannes Reichmuth (DLR) durch die Mediationsgruppe Frankfurt als Gutachter benannt, eine Qualitätssicherung des FAA Kapazitätsgutachtens „An Investigation of the Present and Potential Future Capacity of Frankfurt am Main International Airport“ durchzuführen. Es wurde ein internationales Team gebildet, daß um Frau lic.phil. Cornelia Hüttenmoser (Büro Oliva) und Herrn Dipl. Ing. Franz Knabe (DLR) erweitert wurde.

Die Vorgehensweise und Ergebnisse der Qualitätssicherung wurden in einem Zwischenbericht am 30.6.1999 und in einem mündlichen Abschlußbericht am 16.7.1999 vor der Mediationsgruppe Frankfurt vorgetragen.

In einem ersten Schritt wurde der Mediationsgruppe die gemeinsame Vorgehensweise erläutert und eine erste vorläufige Wertung abgegeben. Die abschließende Wertung wurde vor der Mediationsgruppe in Form eines Hearings mündlich vorgestellt, nachdem der Qualitätssicherung zusätzliche Informationen durch die FAA zur Verfügung gestellt worden waren.

Die Ergebnisse der Qualitätssicherung wurden im vorliegenden Abschlußbericht dokumentiert. Dabei wurden auch die bei der mündli-

chen Abschlußpräsentation der Ergebnisse vorliegenden Ergebnisse von FAA Berechnungen zu neuen auch von der Qualitätssicherung angeregten Konfigurationen noch mit einbezogen...

Eine Aufstellung der wichtigsten Ereignisse und der verwendeten zusätzlichen Informationen im Ablauf der Qualitätssicherung wurden in einem technischen Anhang zu diesem Bericht aufgenommen. In ihm sind auch die beim DLR durchgeführten Parameterüberprüfungen und Vergleichsrechnungen sowie weiterführende Beiträge des NLR enthalten.



Flughafen Frankfurt am Main, Copyright FAG