

# **Zeitlicher Ablauf des Qualitätssicherungsverfahrens**

**- Teil A des Technischen Anhangs -**

Johannes Reichmuth

Standort Braunschweig  
© Institut für Flugführung  
Leiter: Dr.-Ing. U. Völckers

August 99

Version 1.0

Die folgende Aufstellung listet die wichtigsten Ereignisse im Ablauf der Qualitätssicherung auf.

Datum	Ereignisse / Aktivitäten
12.05.99	Benennung der Personen der Qualitätssicherung des FAA Gutachtens durch Mediationsgruppe Übermittlung von Fragen der Mediationsgruppe zum Gutachten an Qualitätssicherung [Email von Herrn Ewen]
20.05.99	<b>Sichtung der Vorgeschichte</b> Projektbüro übermittelt Hintergrundinformationen zum Mediationsverfahren und der FAA Kapazitätsstudie u.a. auch die FAG Ausarbeitung der Anfluggrundlinien von Varianten [Schreiben der FAG vom 17.07.99] Einigung, Qualitätssicherung als internationales Team durchzuführen, Kommunikationsmittel: Email-Internet Einbindung von Herrn Knabe (DLR) , Frau Hüttenmoser (Büro Oliva)
27.05.99	Übermittlung der deutschen Übersetzung Summary FAA Studie und der DLH-Kritik an Variante 10 wegen Überflughöhen [beides Anlagen des Schreibens des Projektbüros der Mediationsgruppe vom 27.05.99]
08.06.99	Sitzung Arbeitskreis Verkehr der Mediationsgruppe in Frankfurt, Qualitätssicherung durch Herrn Dr. Oliva vertreten
09.06.99	Kriterien für durch Qualitätssicherung zu findende möglicher weiterer Bahnkonfigurationen präzisiert (Beschränkung Gesichtspunkt Bahnkapazität, Gesamtkapazität 120 Bewegungen und mehr) [Email von Herrn Ewen]
14.06.99	<b>Beginn Review</b> FAG stellt Dokument der Eingabedaten für FAA Studie sowie FAA Studie ohne Technical Appendix zur Verfügung [Fax der FAG]
16.06.99	Meeting Qualitätssicherung im DLR Institut für Flugführung, Braunschweig <b>Aufstellung Kriterienkatalog Qualitätssicherung</b>
17.06.99	Einigung auf Kriterienkatalog Qualitätssicherung Eingang FAA Technical Appendix als Fax (Kapitel 5 und 6 fehlen)
18.06.99	<b>Beginn Vorbereitung des Zwischenberichts</b> Eingang Unterlagen zum Vorschlag Vereinigung Cockpit „Atlanta Variante“ [Schreiben der VC vom 09.06.99]

Datum	Ereignisse / Aktivitäten
24.06.99	Erste vorläufige Version eines Zwischenberichts durch DLR erstellt
28.06.99	Per Email Excel-Dateien der FAA Berechnungen (nur West-Flow Teil der noch fehlenden Kapitel 5 und 6 des Technical Appendix)
30.06.99	<p><b>Zwischenbericht Qualitätssicherung vor Mediatitonsgruppe in Flörsheim</b></p> <p>Offizielle Aushändigung der FAA-Studie durch FAG [An Investigation of the Present and Potential Future Capacity of Frankfurt am Main International Airport und Technical Appendix]</p>
02.07.99	Technische Fragen zum Gutachten von DLR an FAG, FAA [Email von Herrn Knabe; DLR]
06.07.99	Fragen zu „Atlanta-Varianten“ an FAG, FAA [Email von Herrn Reichmuth, DLR]
09.07.99	Version der FAA-Studie incl. Atlanta-Varianten und vollständigen Ergebnisdateien (Büro Oliva 13.07.)
12.07.99	<p>Antwort FAA auf Fragen zu „Atlanta“-Varianten [Email von Herrn Holladay, FAA vom 09.07.99]</p> <p>Präzisierung der Fragen zu „Atlanta“ Varianten durch Herrn Dr. Ewen an FAA [Email von Herrn Ewen]</p>
13.07.99	FAA Antworten auf technische Fragen von FAG übermittelt [Email von Herrn Holladay, FAA vom 08.07.99]
15.07.99	Beitrag Ergebnisse der „Atlanta“-Variante von FAG an Qualitätssicherung [Fax der FAG]
16.07.99	<b>Mündlicher Abschlußbericht vor dem Mediationsausschuß in Frankfurt/Main</b>
19.07.99	<p><b>Beginn Erstellung schriftlicher Abschlußbericht</b></p> <p>Addendum 1 FAA Bericht mit Berechnungen zur „Atlanta Variante“ liegt vor [FAG-Schreiben]</p>
04.08.99	Fax mit Kapazitätswerten für Konfiguration 13 (südliche Parallelbahn ohne Piste 18) [Fax der FAG]
06.08.99	Fax mit Kapazitätswerten Konfiguration 14 (südliche Parallelbahn ohne Piste 18 + Wiesbaden Erbenheim) [Fax der FAG]
27.08.99	<b>Abschlußbericht ausgeliefert</b>

# **Qualitätssicherung Mediation Flughafen Frankfurt**

## **Parameter des FAA-Gutachtens und Vergleichsrechnungen**

***>Version 1.2<***

Franz Knabe

**- Teil B des Technischen Anhangs -**

**Dok Nr.: IB 112-1999/30**

Standort Braunschweig  
© Institut für Flugführung  
Leiter: Dr. Ing. U. Völckers

August 99

## Inhalt

Abkürzungen .....	iii
1. Ziel des Dokuments .....	1
2. Verfahren zur Berechnung der Bahnkapazität .....	2
3. Parameterwerte für die Kapazitätsberechnung .....	4
3.1 Verkehrszusammensetzung .....	4
3.2 Staffelungen zwischen Bahnoperationen .....	5
3.2.1 Anflug/Anflug .....	5
3.2.2 Abflug/Abflug .....	6
3.2.3 Anflug/Abflug .....	7
3.2.4 Abflug/Anflug .....	8
3.3 Anfluggeschwindigkeiten .....	8
3.4 Nutzungsstrategie für das Pistensystem .....	9
3.4.1 Vorrangbehandlung von Landungen oder Starts .....	9
3.4.2 Verteilung der Landungen und Starts auf bestehende und mögliche neue Pisten und Benutzungsrichtungen .....	9
3.5 Reihenfolge von Landungen und/oder Starts auf einer oder mehrerer Pisten .....	12
3.6 Länge des gemeinsamen Anflugpfades .....	12
4. Ergebnisse der Vergleichsrechnungen .....	13
4.1 Vergleichsrechnung Anflugkapazität Variante 1a .....	14
4.2 Vergleichsrechnung Anflugkapazität Variante 1b .....	17
4.3 Vergleichsrechnung Anflugkapazität Varianten 2, 9a, 9b, 10 .....	18
5. Anhang .....	A
5.1 Quellenverzeichnis .....	A
5.2 Abbildungsverzeichnis .....	B
5.3 Tabellenverzeichnis .....	B

## Abkürzungen

ADSIM	Airfield Delay Simulation Model
BA-FVK	Betriebsanweisung für die Flugverkehrskontrolle
CAT	Category
DFS	Deutsche Flugsicherung
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
FAA	Federal Aviation Administration
FRA	Frankfurt
ILS	Instrument Landing System
IMC	Instrument Meteorological Conditions
LFZ	Luftfahrzeug
NLR	Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium
NM	Nautische Meilen
PRM	Precision Runway Monitor
RDSIM	Runway Delay Simulation Model
RWY	Runway
SIMMOD	Airspace and Airport Simulation Model (der FAA)
UW	Unterschreitungswahrscheinlichkeit
VFR	Visual Flight Rules
VMC	Visual Meteorological Conditions

## Versionskontrolle

- 1.0 Draftversion
- 1.1 Um SIMMOD Ergebnisse ergänzt.
- 1.2 Redaktionelle Modifikationen.

## 1. Ziel des Dokuments

Die Mediationsgruppe Flughafen Frankfurt/Main hat eine Reihe von Gutachten in Auftrag gegeben, um die Notwendigkeit, Form und Auswirkung eines möglichen Ausbaus des Flughafens unter verschiedenen Gesichtspunkten betrachten zu können. Eines dieser Gutachten untersucht die Bahnkapazität einer Reihe von Ausbau- und Nutzungsvarianten, die von Institutionen aus dem Umfeld des Flughafenbetriebes vorgeschlagen wurden. Mit dem Gutachten beauftragt wurde die amerikanische Luftfahrtbehörde FAA im Namen und auf Rechnung der Flughafen Frankfurt AG. Für die Qualitätskontrolle des Gutachtens wurde ein internationales Expertenteam gebildet aus Vertretern des Büro Oliva – Soziologische Grundlagenforschung und Entwicklungsplanung, des DLR und des NLR.

Das vorliegende Dokument ist Bestandteil des technischen Anhangs an den Hauptbericht zur Qualitätskontrolle für das FAA-Gutachten. Es faßt die Prüfung der technischen Einzelheiten des Gutachtens, die im DLR erzielt wurden, zusammen. In die Prüfung einbezogen wurden

- das verwendete **Verfahren** zur Berechnung der Bahnkapazität,
- die **Werte** der in die Kapazitätsberechnung eingehenden Parameter
- und die **Ergebnisse** anhand von stichprobenartigen Vergleichsrechnungen.

## 2. Verfahren zur Berechnung der Bahnkapazität

In der FAA-Studie wurde für jede Flughafenvariante die zeitliche Abfolge von Starts und Landungen mit dem RUNWAY DELAY SIMULATION MODEL RDSIM simuliert. Die Ergebnisse wurden über einem Mittelungsprozeß zu Kapazitätskennzahlen zusammengefaßt, so daß die Leistungsfähigkeit der einzelnen Varianten übersichtlich verglichen werden kann. RDSIM ist ein Derivat des umfangreicheren AIRFIELD DELAY SIMULATION MODEL ADSIM und konzentriert sich ausschließlich auf die Modellierung von Bahnoperationen.

Diese Vorgehensweise unter Verwendung eines Simulationsmodells ist bei komplexeren Bahnkonfigurationen üblich, da sich in vielen dieser Fälle keine geschlossenen analytischen Formeln für die Berechnung der Bahnkapazität bestimmen lassen [Hor93]. Da für RDSIM keine Dokumentation vorliegt, kann über die Arbeitsweise des Modells zur Abarbeitung der geplanten Flüge im Detail keine Aussage gemacht werden. Es ist jedoch aufgrund der langjährigen Nutzung von RDSIM bei der FAA und der Verwendung in vielen Kapazitätsstudien [FAA98] davon auszugehen, daß das Modell zuverlässig und stabil funktioniert.

Für die Berechnung der in dieser Studie geforderten Zielgröße „*stündliche Bahnkapazität*“ hat die FAA aus den Simulationsergebnissen für jede Variante den Verkehrsfluß an Gesamtbewegungen bestimmt, für den sich eine durchschnittliche Verspätung von 4 Minuten pro Flug ergibt. Diese Verknüpfung von Verkehrsfluß und Verspätung ist ein übliches Verfahren und der resultierende Wert wird als praktische Kapazität bezeichnet. Auch der Wert von 4 Minuten Verspätung pro Flug ist üblich. Unter den beteiligten Institutionen am Flughafen kann aber auch ein anderer Wert (etwa 3 Minuten oder 6 Minuten pro Flug) als akzeptabel ausgehandelt werden, wobei sich dann auch die zugehörigen Verkehrsflüsse ändern würden. Die Größenordnung einer solchen Änderung kann aus den tabellarischen Darstellungen im Anhang des FAA-Gutachtens leicht nachvollzogen werden.

Die Ergebnisse wurden erzielt mit einer Nachfrage, in der Starts und Landungen jeweils 50 % Anteil hatten („... applying a split of 50/50...“ [FAA99a, S. 13]) und die während der Simulation in Schritten erhöht wurde, um an die Kapazitätsgrenze der jeweiligen Variante zu gelangen. Aus den Ergebnissen der einzelnen Schritte wurde durch Interpolation der stündliche Gesamtverkehrsfluß ermittelt, bei dem eine Operation im Durchschnitt 4 Minuten Verspätung hatte. Außerdem wurde ebenfalls durch Interpolation der Anteil von Starts und Landungen an diesem speziellen stündlichen Gesamtverkehrsfluß bestimmt und in den Ergebnissen dargestellt. Die so erzielten Ergebnisse sind für die Varianten 1 – 12 in Tabelle 2-1 abgebildet.

Es fällt auf, daß in den meisten Fällen keine 50/50 Aufteilung zwischen Starts und Landungen entsteht, sondern ein Überhang zugunsten der Starts bis zu einem Verhältnis von 45/55. Das bedeutet, daß in einer solchen Variante pro Stunde etwa 20 % mehr Flüge starten als landen. Damit wäre zum einen der kontinuierliche Betrieb eines zukünftigen Flughafens in einem solchen Modus zeitlich eingeschränkt und zum anderen wird der Vergleich der Varianten erschwert, weil nicht alle Varianten diesen Effekt aufweisen. Ursachen des Effekts ist das Ungleichgewicht zwischen An- und Abflugkapazität bei vielen Varianten in Verbindung mit dem Berechnungsverfahren zur Mittelung der nichtlinearen Kapazitätsfunktionen.

Würden alle Varianten alternativ anhand einer bis auf eine Operation pro Stunde einzuhaltenen und erreichbaren 50/50 Aufteilung eingestuft, träten bezüglich der Zielgrößen der Studie Gesamtkapazität und Reihenfolge der Varianten *voraussichtlich* folgende Effekte ein:

- Die Anzahl der Gesamtbewegungen würde bei vielen Varianten zurückgehen, was bei den Varianten 9a, 9b, 10 und 11a zu einem Absinken unter die 120er-Grenze beim Future Mix führen würde.
- Die Reihenfolge würde sich im wesentlichen nicht ändern.

	Present Mix						Future Mix					
	West			East			West			East		
	L	S	T	L	S	T	L	S	T	L	S	T
12 (+ 2 South Parallels, - RWY18)	70	<b>80</b>	150	70	<b>80</b>	150	66	<b>74</b>	140	66	<b>74</b>	140
9a (+ Parallel North > 5000 ft East)	67	<b>76</b>	143	61	<b>70</b>	131	57	<b>66</b>	123	51	<b>61</b>	112
9b (+ Parallel North > 5000 ft West)	67	<b>76</b>	143	61	<b>70</b>	131	57	<b>66</b>	123	51	<b>61</b>	112
10 (+ Parallel North at 3050 ft + PRM)	67	<b>76</b>	143	61	<b>70</b>	131	57	<b>66</b>	123	51	<b>61</b>	112
11a (+ Erbenheim + PRM FRA)	65	<b>73</b>	138	63	<b>70</b>	133	54	<b>68</b>	122	53	<b>64</b>	117
11 (+ Erbenheim)	59	<b>67</b>	126	56	<b>61</b>	117	53	<b>59</b>	112	48	<b>56</b>	104
2b (Spreizung Parallelen auf 3400 ft)	58	58	116	55	55	110	54	54	108	53	53	106
5 (+ Converging North)	51	<b>54</b>	105	34	<b>40</b>	74	49	<b>53</b>	102	32	<b>35</b>	67
7 (+ Parallel 18W)	52	<b>58</b>	110	38	<b>47</b>	85	48	<b>52</b>	100	35	<b>44</b>	79
2 (+Südbahn > 3400ft)	57	54	111	58	<b>62</b>	120	50	48	98	51	<b>56</b>	107
3 (+ Südbahn > 5000 ft)	54	54	108	58	<b>63</b>	121	48	48	96	52	<b>55</b>	107
4b (+ Converging South Outside)	49	<b>52</b>	101	36	<b>39</b>	75	47	<b>48</b>	95	33	<b>38</b>	71
4a (+ Converging South Inside)	50	<b>52</b>	104	35	<b>39</b>	74	46	<b>48</b>	94	33	<b>38</b>	71
2a(+Südbahn <= 1000ft)	49	<b>50</b>	99	49	<b>58</b>	107	45	45	90	45	<b>52</b>	97
1b (+PRM)	47	<b>51</b>	98	45	<b>47</b>	92	42	<b>47</b>	89	41	<b>43</b>	84
6 (+ Landings on 18)	46	<b>47</b>	93	34	<b>34</b>	68	43	<b>45</b>	88	33	<b>34</b>	67
8 (+ Parallel East)	39	<b>48</b>	87	52	<b>58</b>	110	38	<b>44</b>	82	45	<b>55</b>	100
1a (Present)	38	<b>43</b>	81	36	<b>41</b>	77	35	<b>42</b>	77	34	<b>39</b>	73
6a (+ Landings on 36)	24	24	48	24	24	48	24	24	48	24	24	48

Tabelle 2-1: Ergebnisse aus dem Kapazitätsgutachten der FAA [FAA99b], sortiert nach Gesamtkapazität im Future Mix West Flow (kursiv = Varianten mit Überhang an Abflugkapazität)

### 3. Parameterwerte für die Kapazitätsberechnung

Für die Berechnung der Bahnkapazität wurde im FAA-Gutachten eine Reihe von Parametern verwendet, deren Auswahl und Werte im folgenden diskutiert werden.

*Die zu den einzelnen Parametern geäußerten Vermutungen bezüglich der Auswirkungen veränderter Parameter auf die Ergebnisse der Studie wurden ausschließlich aufgrund subjektiver Erfahrungen im Sinne einer Experteneinschätzung gegeben. Sie wurden nicht durch zusätzliche Berechnungen verifiziert und haben deswegen nur eine begrenzte Aussagefähigkeit und Belastbarkeit. Die Einschätzungen wurden dennoch in diesen Bericht aufgenommen, um dem Mediationsausschuß ein Gefühl zu vermitteln über die Benutzbarkeit der Ergebnisse der FAA-Studie für eventuelle Entscheidungen für oder gegen einzelne Varianten.*

#### 3.1 Verkehrszusammensetzung

Die Simulationen wurden mit zwei Verkehrszusammensetzungen durchgeführt. Zum einen wurde die Zusammensetzung von 1998 mit einem Heavy-Anteil von 26 % als Present Mix verwendet und zum anderen eine mögliche zukünftige Entwicklung im Future Mix mit einem Heavy-Anteil von 37 % berücksichtigt. Mit Blick auf die tatsächliche Entwicklung der Verkehrszusammensetzung seit Mitte der 80er Jahre erscheint diese Auswahl schlüssig, zwischen deren Grenzen die zukünftige Entwicklung mit hoher Wahrscheinlichkeit verlaufen wird.

Entwicklung des Anteils der HEAVY-Flugzeuge am Gesamtverkehr FRA

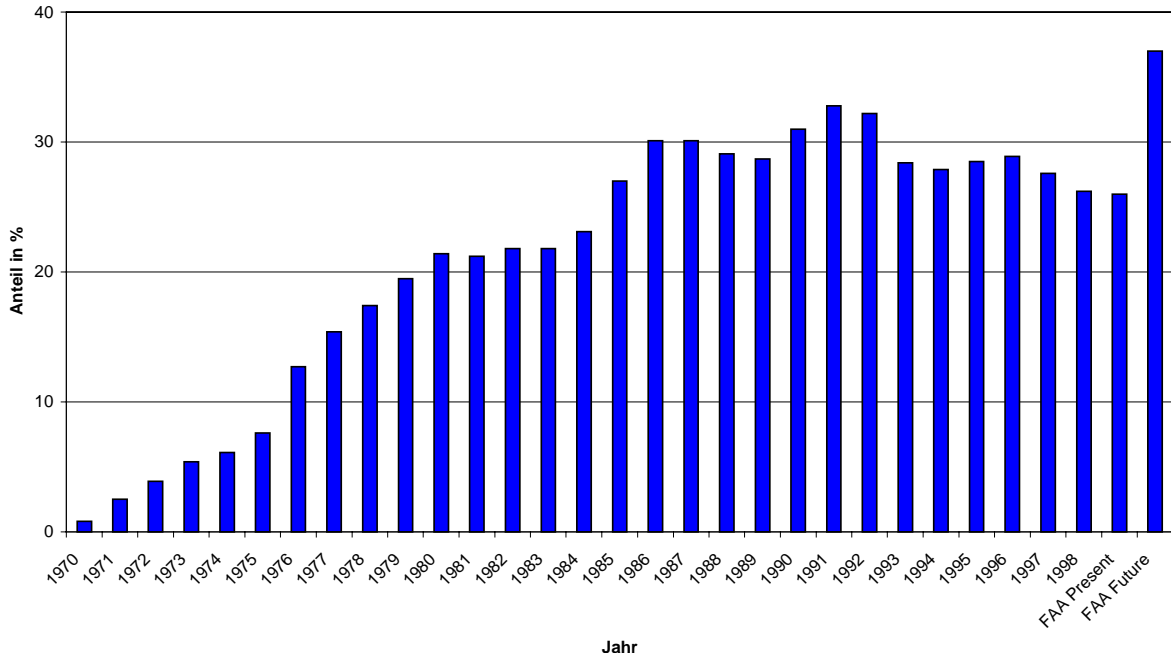


Abbildung 1: Entwicklung des Heavy-Anteils am Flughafen Frankfurt im Vergleich mit Werten aus dem FAA-Gutachten [FAG99]

### 3.2 Staffelungen zwischen Bahnoperationen

Für die Bestimmung der Bahnkapazität sind die für die Sicherheit des Betriebes notwendigen *zeitlichen* Staffelungen zwischen den einzelnen Bahnoperationen von entscheidender Bedeutung. Die Anwendung dieser Staffelungen überführt die Nachfrage in einen Verkehrsfluß mit zugehörigen Verspätungen und ermöglicht so die Kapazitätsberechnung. Im technischen Anhang der FAA-Studie sind eine Reihe von Staffelungen angegeben, die im folgenden näher betrachtet werden.

#### 3.2.1 Anflug/Anflug

In der FAA-Studie werden Instrument Meteorological Conditions (IMC) und Anflüge unter ILS CAT I angenommen. Die daraus folgende Wahl der Matrix der Mindestanflugstaffelungen mit 2.5 – 6 NM (Appendix Table 14 [FAA99b]) entspricht den Vorschriften und Regeln für diesen Fall. Die gegenwärtig unter Sichtbedingungen mögliche Herstellung der Staffelung zwischen zwei Anflügen durch den Piloten des nachfolgenden LFZ (BA-FVK [DFS99]) und die damit verbundenen Staffelungswerte wurden in der FAA-Studie nicht berücksichtigt.

Die Annahme dieser Randbedingungen ist nachvollziehbar, da zum einen die Vergleichbarkeit der einzelnen Varianten erleichtert wird und zum anderen der Anteil der Staffelungen unter Pilotenverantwortung etwa durch den Einsatz eines Wirbelschleppenwarnsystems in Zukunft voraussichtlich wesentlich verringert wird.

Da die Kontrolle von Anflügen unter IMC mit Hilfe eines Radarbildschirms erfolgt, werden hier Mindestwerte in Form von räumlichen Längsstaffelungen vorgeschrieben. Die Einhaltung einer vorgegebenen Staffelung zwischen zwei Anflügen unterliegt u. a. durch meteorologische Einflüsse oder unterschiedliche Flugzeugmuster einer gewissen Streubreite. Deshalb addiert der Lotse bei der Staffelungsherstellung zum Mindestwert einen Sicherheitspuffer, der von der Staffelungsgenauigkeit und der zugelassenen Staffelungsunterschreitungswahrscheinlichkeit abhängt und versucht dann den Abstand auf die so erhaltene mittlere Staffelung einzustellen.

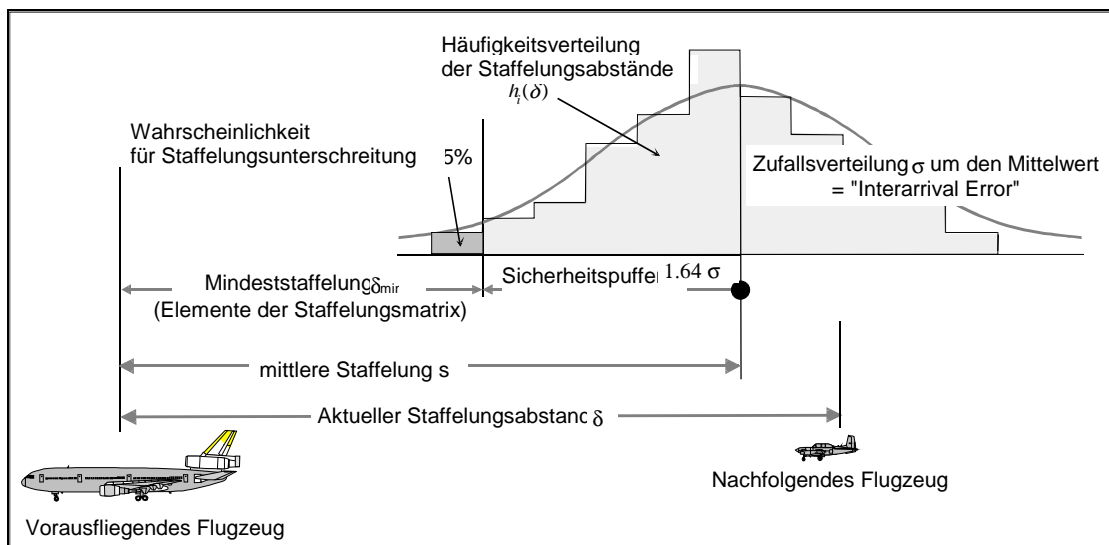


Abbildung 2: Prinzip der Anflugstaffelung mit Mindestabstand, Staffelungsverteilung und Sicherheitspuffer

Der für die Anflugstaffelung verwendete Sicherheitspuffer wird in der FAA-Studie nicht explizit angegeben. Per Email übermittelte die FAA folgende Angaben:

*„Interarrival error was: class 1 - 0.70nm; class 2 - 0.65nm; class 3 - 0.60 nm Violation probability was 5 % using one tailed normal distribution.“*

Dieser Interarrival Error entspricht bei den angenommenen Anfluggeschwindigkeiten etwa einem Wert von +/- 13.5 – 15.8 Sekunden, der mit guter manueller Anflugkontrolle erreicht werden kann. Auch die Staffelungsunterschreitungswahrscheinlichkeit von 5 % wird in der Flugsicherung üblicherweise für derartige Berechnungen verwendet.

Die angenommene Verringerung der Mindestanflugstaffelung für versetzte Anflüge zu parallelen Pisten durch Einsatz eines PRM von 2.5 NM auf 1.5 NM entspricht den heutigen technischen und operationellen Möglichkeiten. Auf die zusätzlich notwendigen regulatorischen Änderungen bei Einsatz des PRM für das heutige Parallelbahnsystem mit nur 1700 ft. Abstand wird deutlich hingewiesen.

Neben dem PRM wurde keine weitere mögliche Verbesserung berücksichtigt, die in Zukunft zu einer Verringerung der Anflugstaffelungen führen könnte. Zu nennen wäre hier ein Wirbelschleppenwarnsystems, das, staffelungstechnisch betrachtet Heavy LFZ in Medium LFZ umwandelt und dadurch eine Erhöhung der Anflugkapazität bewirken soll. Auch eine Verbesserung des Interarrival Errors auf von etwa 15 auf 10 Sekunden sollte in Zukunft möglich sein und damit eine Erhöhung der Anflugkapazität bewirken können. Eine Berücksichtigung dieser beiden Verbesserungen würde voraussichtlich folgende Effekte haben:

- Die Anzahl der Gesamtbewegungen würde bei allen zukünftigen Varianten steigen.
- Die Reihenfolge der Varianten untereinander würde sich im wesentlichen nicht ändern.

### **3.2.2 Abflug/Abflug**

Die Mindeststaffelung zwischen zwei Abflügen auf der gleichen oder auf parallelen Pisten mit weniger als 760 m Abstand beträgt für wirbelschleppenkritische Gewichtsklassenkombinationen im Regelfall 2 Minuten [DFS99]. Für die übrigen Gewichtsklassenkombinationen gilt, daß das vorher gestartete LFZ entweder das Ende der Piste überflogen hat oder abgehoben und eine Kurve eingeleitet hat, die eine Staffelungsunterschreitung ausschließt.

Da ein LFZ vom Beginn des Startlaufs bis zum Abheben etwa 35 Sekunden benötigt, sind die in der Studie angenommenen 39 Sekunden Departure Runway Occupancy Time und die Abflug/Abflugstaffelungen von 50 – 60 Sekunden für wirbelschleppenunkritische Kombinationen als plausibel anzusehen. Die angenommenen 120 Sekunden für wirbelschleppenkritische Kombinationen entsprechen den Mindestwerten in der BA-FVK [DFS99].

	Trail		
Lead	Heavy	Medium	Light
Heavy	120	120	120
Medium	50	50	90
Light	50	60	60

Tabelle 3-1: Abflug/Abflugstaffelungen aus der FAA-Studie für Abflüge von gleicher Bahn oder eng benachbarten Parallelbahnen [FAA99b]

### 3.2.3 Anflug/Abflug

Für einen Abflug, der auf der gleichen Piste wie die vorhergehende Landung starten soll, bestimmt die Landebahnbelegungszeit die Staffelung zu dieser Landung. Für das existierende Parallelbahnsystem gibt die FAA-Studie eine detaillierte Verteilung der Landebahnbelegungszeiten aufgeschlüsselt nach Piste, Benutzungsrichtung und Exit an. In Tabelle 3-1 sind die aus den Verteilungen in der FAA-Studie berechneten mittleren Bahnbelegungszeiten dargestellt. Die Werte für das existierende Bahnsystem liegen in einem Bereich, der auch auf vergleichbaren Flughäfen erreicht wird. Die Werte für eine neue Bahn erscheinen sehr optimistisch, da in der Studie nicht angegeben ist, wie diese Verbesserung insbesondere bei LFZ der Klasse Heavy erzielt werden soll. Für die Ergebnisse der Studie sind die Belegungszeiten der neuen Bahn jedoch nicht relevant, weil auf der neuen Bahn nur Landungen der Klassen Medium und Light stattfinden.

Bahn	Gewichtsklasse		
	HEAVY	MEDIUM	LIGHT
Exit zum Passagierterminal			
25R Exit right	55	48	46
25L Exit right	49	45	50
07L Exit left	57	53	48
07R Exit left	55	52	48
New Runway	<b>43</b>	<b>43</b>	51
Exit nach Süden			
25R Exit left	66	63	54
25L Exit left	64	59	57
07L Exit right	66	60	47
07R Exit right	65	59	48

Tabelle 3-1: Mittlere Bahnbelegungszeiten nach [FAA99b]

Für die Staffelung zwischen einer vorangehenden Landung auf dem existierenden Parallelbahnsystem und einem Start auf der anderen Bahn des Parallelbahnsystems wird ein plausibler

Wert von 10 Sekunden angenommen. Innerhalb dieser Frist kann der für die Abflugfreigabe zuständige Lotse entscheiden, ob die Landung durchstartet oder nicht.

Die Staffelungswerte Anflug/Abflug sind für eine vorhergehende Landung auf der Piste 25L oder einer neuen Piste 25S und einem folgenden Start auf Piste 18 wurden weder in der Studie noch in den folgenden Emails angegeben und können daher auch nicht geprüft werden.

### 3.2.4 Abflug/Anflug

Die Staffelung zwischen einem vorangehenden Abflug und einem folgendem Anflug wird allgemein mit der Distanz angegeben, die ein Anflug noch von der Landeschwelle entfernt sein muß, damit der Abflug seinen Startlauf noch beginnen kann. Für entsprechende Operationen auf gleicher Bahn und auf dem existierenden Parallelbahnsystem gibt die FAA-Studie Werte zwischen 2 NM und 3 NM je nach Gewichtsklassenkombination an. Der Wertebereich an sich entspricht dem in vergleichbaren Studien verwendeten Werten. Für die Unterschiede in den Werten zwischen den einzelnen Gewichtsklassenkombinationen ist allerdings keine Begründung angeführt.

In einer ergänzenden Email teilte die FAA mit, daß für die Kombination Abflug 18 / Anflug 25S ebenfalls die o. g. Staffelungsmatrix verwendet wird, und für die Kombination Abflug 18 / Anflug 25L eine entsprechende Matrix mit halbierten Werten verwendet wird. Diese Annahmen erscheinen als erste Näherung für die Zwecke der Studie ausreichend zu sein.

*Die Staffelungswerte zwischen Abflügen auf Piste 18 einerseits und Landungen in Richtung Ost auf alten und neuen Bahnen andererseits wurden weder in der Studie noch in den folgenden Emails angegeben und können daher auch nicht geprüft werden.*

### 3.3 Anfluggeschwindigkeiten

Die Anfluggeschwindigkeiten werden in der FAA-Studie für alle LFZ-Klassen gleich mit 160 kt als Durchschnittsgeschwindigkeit entlang des Gleitpfades angenommen. Für die Kapazitätsberechnung entscheidend ist der Zeitverbrauch für den Flugweg, den das nachfolgende LFZ noch vor sich hat, wenn das vorausfliegende LFZ die Schwelle überfliegt. Deshalb sollte in der Berechnung die durchschnittliche Geschwindigkeit auf diesem letzten Teilstück des Gleitpfades verwendet werden. Da keine Dokumentation über die Arbeitsweise von RDSIM vorliegt, kann auch die Modellierung in diesem Punkt nicht geprüft werden. Die Größenordnung der maximalen Abweichung, die durch die Verwendung von 160 kt statt der in anderen Studien angenommenen 130 – 150 kt bei der Berechnung der Anflugkapazität entstehen könnte, beträgt etwa 10 – 15 %.

Bezüglich der Zielgrößen der Studie Gesamtkapazität und Reihenfolge der Varianten träten *voraussichtlich* folgende Effekte ein:

- Die Anzahl der Gesamtbewegungen würde bei vielen Varianten zurückgehen, was bei den Varianten 9a, 9b, 10 und 11a zu einem Absinken unter die 120er-Grenze beim Future Mix führen würde.
- In der Reihenfolge würde sich im wesentlichen nichts ändern.

### 3.4 Nutzungsstrategie für das Pistensystem

Unter dem Begriff Nutzungsstrategie für das Pistensystem werden hier folgende Maßnahmen zusammengefaßt:

- Vorrangbehandlung von Landungen oder Starts.
- Verteilung der Landungen und Starts auf bestehende und mögliche neue Pisten und Benutzungsrichtungen.
- Reihenfolge von Landungen und/oder Starts auf einer oder mehrerer Pisten.

Die Wahl der Nutzungsstrategie für ein Pistensystem eines Flughafens hängt im täglichen Betrieb von einer ganzen Reihe von Faktoren, wie Windrichtung, Lärmverteilung oder Leistungsfähigkeit des umgebenden Luftraums ab.

Da die FAA-Studie sich ausschließlich auf Bahnkapazität konzentriert hat, sollte die Nutzungsstrategie für die einzelnen Varianten möglichst so gewählt worden sein, daß bei einer gegebenen Bahnkonfiguration ein maximaler Kapazitätswert erzielt wird.

#### 3.4.1 Vorrangbehandlung von Landungen oder Starts

Die Vorrangbehandlung von Landungen oder Starts dient dazu, übermäßige Verspätungen bei einer Operationsart zu vermeiden. Grundsätzlich haben Landungen Vorrang vor Starts, weil der Startprozeß besser steuerbar ist als der Landeprozeß und Verspätungen auf dem Boden weniger kosten als Verspätungen in der Luft. Nur bei unakzeptablen Verspätungen im Abflugbereich werden im Anflugstrom Lücken geschaffen, um Starts zu ermöglichen.

Fast alle in der FAA-Studie untersuchten Varianten haben einen Überhang an Abflugkapazität (siehe Tabelle 2-1). Obwohl nicht explizit aufgeführt, ist deshalb davon auszugehen, daß die Untersuchungen mit einer Vorrangbehandlung von Landungen durchgeführt wurden.

#### 3.4.2 Verteilung der Landungen und Starts auf bestehende und mögliche neue Pisten und Benutzungsrichtungen

Das in der FAA-Studie genutzte Verfahren zur Verteilung von Landungen und Starts auf bestehende und mögliche neue Pisten und Benutzungsrichtungen wird in einer ergänzenden Email v. 08.07.99 wie folgt beschrieben:

*„The underlying assumption regarding runway use was to preserve, if possible the historical traffic patterns. In the case of departures, this meant using the parallel runways and runway 18 in the manner they are used today. In the case of arrivals, when a new runway was present, adjustments were made to try to balance the demand between the available runways. Detailed runway assignments appear for each scenario in the appendix.“*

Die zugrunde liegende Absicht bei der Verkehrsverteilung war also die Bewahrung der historischen Verkehrsmuster, die Nutzung der bestehenden Pisten für Abflüge wie im heutigen System und die Ausbalancierung der Nachfrage im Anflug zwischen den verfügbaren Pisten. In Tabelle 3-1 und Tabelle 3-2 sind die in der Studie verwendeten Verkehrsverteilungen zusammengefaßt.

			2 5 L	2 5 R	1 8	0 7 R	0 7 L	N E U				2 5 L	2 5 R	1 8	0 7 R	0 7 L	N E U	
1a	West Flow	Arrival	52	48	0				6	West Flow	Arrival	56	0	44				
		Departure	8	37	55						Departure	8	37	55				
		Total	30	42	28						Total	32	18	50				
	East Flow	Arrival			0	55	45			East Flow	Arrival			44	56	0		
		Departure			48	7	45				Departure			48	7	45		
		Total			24	31	45				Total			46	31	23		
1b	West Flow	Arrival	52	48	0				6a	West Flow	Arrival	56	0	0			44	
		Departure	8	37	55						Departure	8	37	55			0	
		Total	30	42	28						Total	32	18	28			22	
	East Flow	Arrival			0	55	45			East Flow	Arrival			0	56	0	44	
		Departure			48	7	45				Departure			48	7	45	0	
		Total			24	31	45				Total			24	31	23	22	
2	West Flow	Arrival	0	56	0			44	7	West Flow	Arrival	56	0	0			44	
		Departure	37	8	55			0			Departure	8	37	55			0	
		Total	18	32	28			22			Total	32	18	28			22	
	East Flow	Arrival			0	0	56	44		East Flow	Arrival			0	56	0	44	
		Departure			48	45	7	0			Departure			45	7	48	0	
		Total			24	23	31	22			Total			23	31	24	22	
2a	West Flow	Arrival	0	56	0			44	8	West Flow	Arrival	56	0	0			44	
		Departure	37	8	55			0			Departure	8	37	55			0	
		Total	18	32	28			22			Total	32	18	28			22	
	East Flow	Arrival			0	0	56	44		East Flow	Arrival			0	56	0	44	
		Departure			48	45	7	0			Departure			45	7	48	0	
		Total			24	23	31	22			Total			23	31	24	22	
2b	West Flow	Arrival	50	50	0				9a	West Flow	Arrival	56	0	0			44	
		Departure	0	25	75						Departure	0	45	55			0	
		Total	25	38	38						Total	28	22	28			22	
	East Flow	Arrival			0	50	50			East Flow	Arrival			0	56	0	44	
		Departure			75	0	25				Departure			48	0	52	0	
		Total			38	25	38				Total			24	28	26	22	
3	West Flow	Arrival	0	56	0			44	9b	West Flow	Arrival	56	0	0			44	
		Departure	37	8	55			0			Departure	0	45	55			0	
		Total	18	32	28			22			Total	28	22	28			22	
	East Flow	Arrival			0	0	56	44		East Flow	Arrival			0	56	0	44	
		Departure			48	45	7	0			Departure			48	0	52	0	
		Total			24	23	31	22			Total			24	28	26	22	
4a	West Flow	Arrival	0	45	0			55	10	West Flow	Arrival	56	0	0			44	
		Departure	8	37	55			0			Departure	0	45	55			0	
		Total	4	41	28			28			Total	28	22	28			22	
	East Flow	Arrival			0	0	45	55		East Flow	Arrival			0	56	0	44	
		Departure			48	7	45	0			Departure			48	0	52	0	
		Total			24	3	45	28			Total			24	28	26	22	
4b	West Flow	Arrival	0	45	0			55	11	West Flow	Arrival	33	30	0			37	
		Departure	8	37	55			0			Departure	4	25	34			37	
		Total	4	41	28			28			Total	19	27	17			37	
	East Flow	Arrival			0	0	45	55		East Flow	Arrival			0	34	29	37	
		Departure			48	7	45	0			Departure			28	4	30	37	
		Total			24	3	45	28			Total			14	19	29	37	
5	West Flow	Arrival	0	45	0			55	11a	West Flow	Arrival	33	30	0			37	
		Departure	8	37	55			0			Departure	4	25	34			37	
		Total	4	41	28			28			Total	19	27	17			37	
	East Flow	Arrival			0	0	45	55		East Flow	Arrival			0	34	29	37	
		Departure			48	7	45	0			Departure			28	4	30	37	
		Total			24	3	45	28			Total			14	19	29	37	

Tabelle 3-1: Prozentuale Verteilung von Starts, Landungen und Gesamtbewegungen auf die Pisten in den einzelnen Varianten beim **Present** Mix (Summe der Prozente pro Variante/Flow/Operationsart ergibt jeweils 100%)

			2 5 L	2 5 R	1 8	0 7 R	0 7 L	N E U				2 5 L	2 5 R	1 8	0 7 R	0 7 L	N E U	
1a	West Flow	Arrival	52	48	0				6	West Flow	Arrival	62	0	38				
		Departure	8	38	54						Departure	8	38	54				
		Total	30	43	27						Total	35	19	46				
	East Flow	Arrival			0	55	45			East Flow	Arrival			38	62	0		
		Departure			45	7	47				Departure			45	7	47		
		Total			23	31	46				Total			42	35	24		
1b	West Flow	Arrival	52	48	0				6a	West Flow	Arrival	62	0	0			38	
		Departure	8	38	54						Departure	8	38	54			0	
		Total	30	43	27						Total	35	19	27			19	
	East Flow	Arrival			0	55	45			East Flow	Arrival			0	62	0	38	
		Departure			45	7	47				Departure			45	7	47	0	
		Total			23	31	46				Total			23	35	24	19	
2	West Flow	Arrival	0	62	0			38	7	West Flow	Arrival	62	0	0			38	
		Departure	38	8	54			0			Departure	8	38	54			0	
		Total	19	35	27			19			Total	35	19	27			19	
	East Flow	Arrival			0	0	62	38		East Flow	Arrival			0	62	0	38	
		Departure			45	47	7	0			Departure			47	7	45	0	
		Total			23	24	35	19			Total			24	35	23	19	
2a	West Flow	Arrival	0	62	0			38	8	West Flow	Arrival	62	0	0			38	
		Departure	38	8	54			0			Departure	8	38	54			0	
		Total	19	35	27			19			Total	35	19	27			19	
	East Flow	Arrival			0	0	62	38		East Flow	Arrival			0	62	0	38	
		Departure			45	47	7	0			Departure			47	7	45	0	
		Total			23	24	35	19			Total			24	35	23	19	
2b	West Flow	Arrival	50	50	0				9a	West Flow	Arrival	62	0	0			38	
		Departure	0	25	75						Departure	0	46	54			0	
		Total	25	38	38						Total	31	23	27			19	
	East Flow	Arrival			0	50	50			East Flow	Arrival			0	62	0	38	
		Departure			75	0	25				Departure			45	0	55	0	
		Total			38	25	38				Total			23	31	27	19	
3	West Flow	Arrival	0	62	0			38	9b	West Flow	Arrival	62	0	0			38	
		Departure	38	8	54			0			Departure	0	46	54			0	
		Total	19	35	27			19			Total	31	23	27			19	
	East Flow	Arrival			0	0	62	38		East Flow	Arrival			0	62	0	38	
		Departure			45	47	7	0			Departure			45	0	55	0	
		Total			23	24	35	19			Total			23	31	27	19	
4a	West Flow	Arrival	0	53	0			47	10	West Flow	Arrival	62	0	0			38	
		Departure	8	38	54			0			Departure	0	46	54			0	
		Total	4	46	27			24			Total	31	23	27			19	
	East Flow	Arrival			0	0	53	47		East Flow	Arrival			0	62	0	38	
		Departure			45	7	47	0			Departure			45	0	55	0	
		Total			23	4	50	24			Total			23	31	27	19	
4b	West Flow	Arrival	0	53	0			47	11	West Flow	Arrival	36	33	0			32	
		Departure	8	38	54			0			Departure	4	28	36			32	
		Total	4	46	27			24			Total	20	31	18			32	
	East Flow	Arrival			0	0	53	47		East Flow	Arrival			0	38	31	32	
		Departure			45	7	47	0			Departure			29	5	34	32	
		Total			23	4	50	24			Total			15	21	33	32	
5	West Flow	Arrival	0	53	0			47	11a	West Flow	Arrival	36	33	0			32	
		Departure	8	38	54			0			Departure	4	28	36			32	
		Total	4	46	27			24			Total	20	31	18			32	
	East Flow	Arrival			0	0	53	47		East Flow	Arrival			0	38	31	32	
		Departure			45	7	47	0			Departure			29	5	34	32	
		Total			23	4	50	24			Total			15	21	33	32	

Tabelle 3-2: Prozentuale Verteilung von Starts, Landungen und Gesamtbewegungen auf die Pisten in den einzelnen Varianten beim **Future Mix** (Summe der Prozente pro Variante/Flow/Operationsart ergibt jeweils 100%)

Die Berechnung der Werte in den beiden Tabellen kann mit folgendem Beispiel nachvollzogen werden:

Der Wert für *Variante 1a / West Flow / Departure / RWY18* in Tabelle 3-1 beträgt 55 %. Er wurde berechnet aus dem Present Mix Heavy/Medium/Light (S. 17, [FAA99b]) und der prozentualen Aufteilung der Gewichtsklassen auf die einzelnen Bahnen in der Variantenbeschreibung (S.25, FAA[99b]):  $26\% * 48\% + 73\% * 58\% + 1\% * 28\% = 55.1\%$ .

Aus den beiden Tabellen ist folgendes ersichtlich:

Im heutigen System sind die Anflüge nicht gleich zwischen den beiden Parallelbahnen verteilt. Auf der Südbahn werden heute bis zu 20 % mehr Anflüge abgewickelt als auf der Nordbahn. Diese Nutzungsstrategie ist nachvollziehbar, weil auf der Nordbahn zusätzlich bis zu 47 % aller Starts abgewickelt werden.

Für die Zukunftsvarianten mit Bau einer neuen Parallelbahn im Norden (Varianten 9a, 9b, 10) wird im Present Mix eine Anflugverteilung *neue Parallelbahn / bestehende Parallelbahn* von 45/55, im Future Mix gar von 38/62 verwendet. Nimmt man hinzu, daß bei diesen Varianten alle Anflüge der Klasse Heavy auf der bestehenden Parallelbahn landen sollen, kann von einer gleichmäßigen Verteilung der Anflüge auf die beiden für Anflüge genutzten Bahnen nicht mehr ausgegangen werden. Außerdem findet bei diesen Varianten ein beträchtlicher Anteil der Starts auf der zweiten bestehenden Parallelbahn statt, so daß hier ein weiterer Grund vorliegen würde, der neuen Bahn mehr Landungen zuzuteilen, um Bahnkapazität zu gewinnen.

Bezüglich der Zielgrößen der Studie Gesamtkapazität und Reihenfolge der Varianten träten bei einer stärkeren Nutzung einer neuen Nordbahn für Anflüge *voraussichtlich* folgende Effekte ein:

- Die Anzahl der Gesamtbewegungen würde bei den Varianten 9a, 9b, 10 deutlich steigen, was im Future Mix ein deutliches Überschreiten der 120er-Grenze bedeuten würde.
- In der Reihenfolge würden die Varianten 9a, 9b und 10 die Variante 12 vermutlich nicht überholen.

### **3.4.3 Reihenfolge von Landungen und/oder Starts auf einer oder mehrerer Pisten**

Durch die Veränderung der Reihenfolge von Landungen und/oder Starts auf einer oder mehreren Pisten und eine von der Verkehrssituation abhängigen taktischen Bahnzuweisung können je nach Verkehrszusammensetzung und erforderlichen Staffelungen erhebliche Kapazitätsgewinne erzielt werden. Voraussetzung ist allerdings das Vorhandensein eines Optimierungssystems, das die entsprechenden Planungsfunktionen bereitstellen kann. Da selbst die Erstellung eines Prototyps eines solchen Planungssystems den Rahmen einer Studie zur Bahnkapazität bei weitem überschreitet, ist die Nicht-Berücksichtigung von Reihenfolgeoptimierung und taktischer Bahnzuweisung in der FAA-Studie nachvollziehbar und sinnvoll.

## **3.5 Länge des gemeinsamen Anflugpfades**

Die Länge des gemeinsamen Anflugpfades wurde mit 15 NM um 5 NM länger angenommen als in vergleichbaren Studien. Auf die Kapazitätsberechnungen hat diese Annahme wegen der für alle Gewichtsklassen gleichen Anfluggeschwindigkeiten keinen Effekt.

## 4. Ergebnisse der Vergleichsrechnungen

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Kapazitätsberechnungen aus der FAA-Studie diskutiert. Dazu wurden im DLR stichprobenartige Vergleichsrechnungen durchgeführt. Die Vergleichsrechnungen konzentrierten sich auf die Anflugkapazität, da hier zum einen alle notwendigen Parameter aus der FAA-Studie zur Verfügung standen und zum anderen drei verschiedene Modelle benutzt werden konnten, die -bei gleichen Eingabedaten- untereinander und mit der FAA-Studie vergleichbare Ergebnisse liefern sollten.

Ein *analytisches Modell* in Anlehnung an [Hor94] und das ebenfalls analytische *FAA Airfield Capacity Model* [Swe81] lieferten Sättigungswerte für die Anflugkapazität. Das *Fast-Time Simulation Model SIMMOD* der FAA [FAA96] wurde für Schnellzeitsimulationen ähnlich wie das RDSIM in der FAA-Studie verwendet.

Das analytische Modell nach [Hor94] berechnet die Sättigungskapazität  $C_S$  als Kehrwert des Erwartungswertes  $E(\Delta T_{ij})$  der gewichteten mittleren zeitlichen Staffellungen. Dieser wiederum wird aus der Wahrscheinlichkeitsmatrix  $[p_{ij}]$  des Auftretens einer Anflugkombination aus den Gewichtsklassen  $i$  und  $j$ , deren zeitlicher Mindeststaffelungsmatrix  $[M_{ij}]$  und der Matrix der zugehörigen Sicherheitspuffer  $[B_{ij}]$  berechnet:

$$C_{S\text{ arr}} = 1 / E(\Delta T_{ij})$$

$$\text{und} \quad E(\Delta T_{ij}) = \Sigma [p_{ij}] [M_{ij} + B_{ij}].$$

Da in der FAA-Studie die räumlichen Mindeststaffelungen  $[S_{ij}]$  zwischen den Anflugkombinationen angegeben sind, wurden diese über die Anfluggeschwindigkeiten  $v_j$  des jeweils folgenden LFZ auf zeitliche Mindeststaffelungen umgerechnet:

$$[M_{ij}] = [S_{ij} / v_j].$$

Der jeweilige Sicherheitspuffer  $B_{ij}$  errechnet sich aus dem Interarrival Error  $\sigma$  und der akzeptierten Unterschreitungswahrscheinlichkeit UW. Für  $UW = 5\%$  ergibt sich aus der Normalverteilung ein Sicherheitspuffer von  $1.65 \sigma$ , für  $UW = 16\%$  erhält man einen Puffer von  $1 \sigma$ .

Aus den Sättigungswerten für die Anflugkapazität wurde dann mit Hilfe einer einfachen Warteschlangenformel eine praktische Anflugkapazität mit 4 Minuten Verspätung pro Anflug  $C_{4\text{min}}$  errechnet:

$$C_{4\text{min}} = \frac{D}{(1/C_S^2 + \sigma^2)/2 + D/C_S}$$

Dabei ist  $D$  die durchschnittliche Verspätung pro Anflug (hier: 4 Minuten) und  $\sigma$  der Interarrival Error (hier: 15 Sekunden).

Die Beschreibung der Arbeitsweise des FAA Airfield Capacity Models ist dem Handbuch entnehmbar [Swe81].

Funktionen und Arbeitsweise von SIMMOD sind z. B. in [FAA96] dokumentiert. Für die Vergleichsrechnungen des DLR wurden per Zufallsgenerator Flugpläne mit annähernd gleichverteilten Nachfragen zwischen 60 und 140 Bewegungen/h über einen Zeitraum von jeweils 18 Stunden erzeugt. Außerdem wurden nach den Angaben der FAA in der Studie und in ergänzenden Emails mehrere Varianten in ein SIMMOD Modell übertragen. Die primären Ergebnisse der Simulation in Form von Verkehrsflüssen und Verspätungen für einzelne Verkehrsstunden wurden mit Hilfe der Ausgleichsrechnung und des o. g. Warteschlangenmodells in eine stündliche Sättigungskapazität für jede Variante überführt (vgl. Abbildung 3). Im folgenden werden für die Vergleiche nur die mit SIMMOD errechneten Anflugkapazitäten verwendet, da für die Bestimmung von Abflug- und Gesamtkapazitäten nicht alle nötigen Modellierungsparameter vorlagen.

#### 4.1 Vergleichsrechnung Anflugkapazität Variante 1a

Die erste Vergleichsrechnung wurde für die Anflugkapazität der Variante 1a mit dem Present Mix durchgeführt. Die Ergebnisse folgender Fälle sind in Tabelle 4-1 zusammengestellt:

- Die Resultate der FAA für den West Flow und für den East Flow als praktische Kapazität nach dem in Kapitel 2 beschriebenen Verfahren berechnet (37.5 bzw. 35.6), die praktische Kapazität, interpoliert aus den Rohergebnissen für Anflüge auf S. WP-1 und EP-2 von [FAA99b] (33.3 bzw. 35.6) und die höchsten in den FAA-Simulationen erzielten Werte als Näherungen für die Sättigungskapazität (40.5 bzw. 38.5).
- Die Resultate des analytischen Anflugmodells, des FAA Airfield Capacity Models und von SIMMOD für den Datensatz aus den FAA-Rechnungen.
- Die Resultate des analytischen Anflugmodells für die Fälle von „16 % UW“ und „keine Berücksichtigung eines Puffers“.
- Die Resultate des analytischen Anflugmodells für Eingangsdatensätze, die in ähnlicher Form im DLR für die Berechnung von IMC und VMC Kapazitätswerten verwendet worden wären. Die VMC Staffelungen sollten für jeden Flughafen spezifisch ermittelt werden. Da für den Flughafen Frankfurt keine Werte zur Verfügung standen, wurden hier Werte verwendet, die von der FAA 1978 [Hai78] angegeben wurden, deren Größenordnung aber auch heute noch gelten dürfte.

Die Ergebnisse zeigen folgendes:

- Die Resultate der FAA-Studie für den West und den East Flow unterscheiden sich auch bei reiner Betrachtung der Anflüge um etwa 2 Bewegungen.
- Die Resultate der FAA-Studie liegen um einige Bewegungen höher als die mit gleichen Eingangsdaten vom DLR mit anderen Modellen erzielten Werte. Diese Unterschiede können anhand der vorliegenden Daten nicht nachvollzogen werden.
- Die Auswirkungen der Verwendung unterschiedlicher Anfluggeschwindigkeiten auf die Kapazitätswerte wird deutlich.

Eingangsdaten	Modell (Anwender)	C <sub>s</sub>	C <sub>4-min</sub>
Matrix 2.5, 4, 5, 6 NM, v=160 kt, Puffer aus 15s und 5% UW, West Flow	RDSIM (FAA [FAA99b])	(40.5)	37.5 (35.0)
Matrix 2.5, 4, 5, 6 NM, v=160 kt, Puffer aus 15s und 5% UW, East Flow	RDSIM (FAA [FAA99b])	(38.5)	35.6 (33.3)
Matrix 2.5, 4, 5, 6 NM, 160 kt, Puffer aus 15s und 5% UW, West und East Flow	Analytisch (DLR)	38.1	31.7
Matrix 2.5, 4, 5, 6 NM, 160 kt, Puffer aus 15s und 5% UW, West und East Flow	FAA Airf. Cap. Model (DLR)	38.1	
Matrix 2.5, 4, 5, 6 NM, 160 kt, Puffer aus 15s und 5% UW, West und East Flow	SIMMOD (DLR [Fla99])	38.0	
Matrix 2.5, 4, 5, 6 NM, 160 kt, Puffer aus 15s und 16% UW, West und East Flow	Analytisch (DLR)	42.5	36.0
Matrix 2.5, 4, 5, 6 NM, 160 kt, kein Puffer, West und East Flow	Analytisch (DLR)	51.6	45.1
Matrix 2.5, 4, 5, 6 NM, 145/140/130 kt, Puffer aus 15s und 5% UW, West und East Flow (IMC)	Analytisch (DLR)	34.6	26.7
Matrix VFR FAA 1978 (1.9 – 4.5 NM) 140/130/120 kt, Puffer aus 15s und 5% UW, West und East Flow (VMC)	Analytisch (DLR)	41.3	34.8

Tabelle 4-1: Berechnung der Anflugkapazität von Variante 1a, Present Mix, mit verschiedenen Modellen und Eingangsdatensätzen.

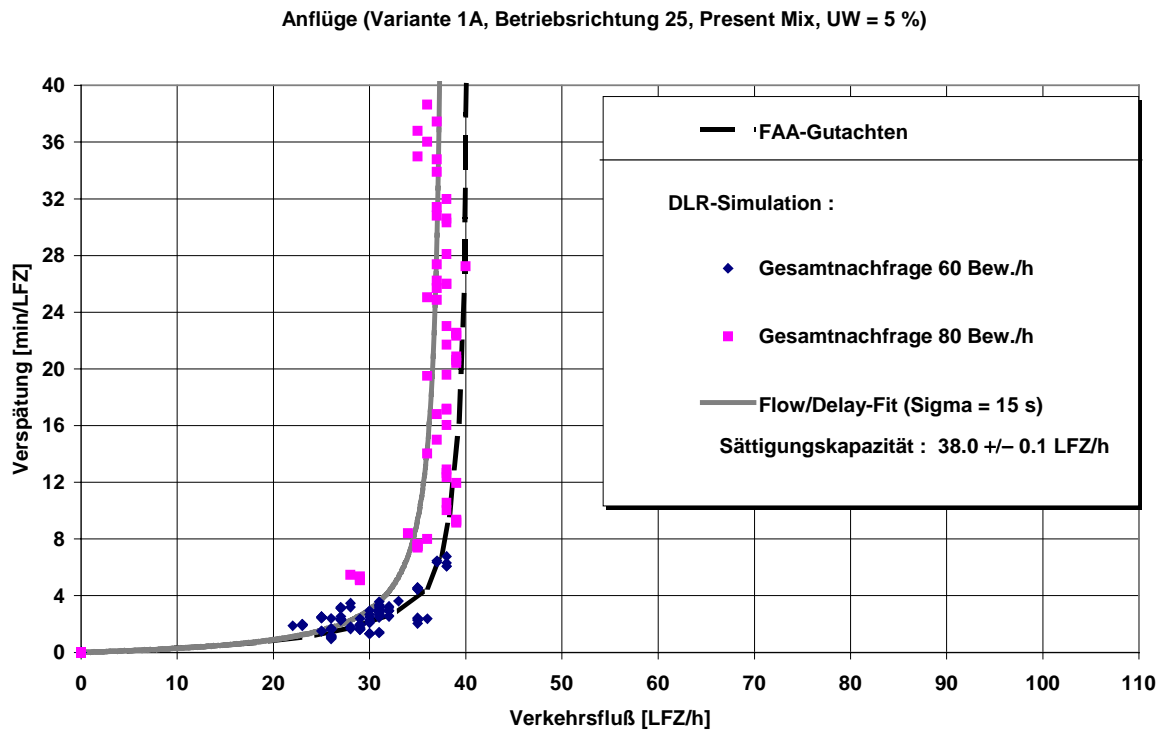


Abbildung 3: Ergebnisse der DLR-Simulationen Variante 1A, Anflug, Einzelmessungen von Verkehrsfluß und durchschnittlicher Verspätung bezogen auf eine Stunde und zugehörige Ausgleichungskurve im Vergleich zu den Ergebnissen der FAA [Fla99] und [FAA99b]

## 4.2 Vergleichsrechnung Anflugkapazität Variante 1b

Die zweite Vergleichsrechnung wurde für die Anflugkapazität der Variante 1b mit dem Present Mix analog den Berechnungen zur Variante 1a durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4-1 zusammengestellt:

Eingangsdaten	Modell (Anwender)	$C_s$	$C_{4-min}$
Matrix 1.5, 4, 5, 6 NM, $v=160$ kt, Puffer aus 15s und 5% UW, West Flow	RDSIM (FAA [FAA99b])	(52.1)	46.7 (44.3)
Matrix 2.5, 4, 5, 6 NM, $v=160$ kt, Puffer aus 15s und 5% UW, East Flow	RDSIM (FAA [FAA99b])	(51.0)	44.5 (42.3)
Matrix 1.5, 4, 5, 6 NM, 160 kt, Puffer aus 15s und 5% UW, West und East Flow	Analytisch (DLR)	46.1	39.7
Matrix 1.5, 4, 5, 6 NM, 160 kt, Puffer aus 15s und 5% UW, West und East Flow	SIMMOD (DLR [Fla99b])	46.3	
Matrix 1.5, 4, 5, 6 NM, 160 kt, Puffer aus 15s und 16% UW, West und East Flow	Analytisch (DLR)	52.8	46.0

Tabelle 4-1: Berechnung der Anflugkapazität von Variante 1b, Present Mix, mit verschiedenen Modellen und Eingangsdatensätzen.

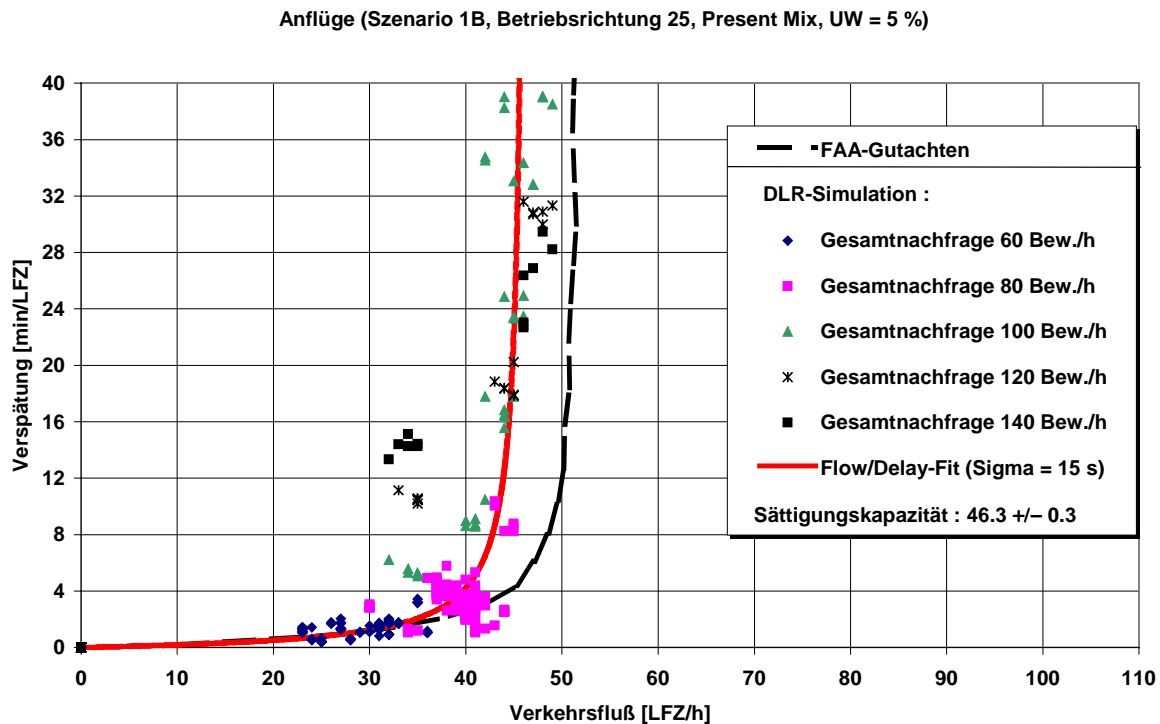


Abbildung 4: Ergebnisse der DLR-Simulationen Variante 1B, Anflug, Einzelmessungen von Verkehrsfluß und durchschnittlicher Verspätung bezogen auf eine Stunde und zugehörige Ausgleichungskurve im Vergleich zu den Ergebnissen der FAA [Fla99] und [FAA99b]

Auch hier erzielen die FAA-Rechnungen mit dem gleichen Eingangsdatensatz wesentlich höhere Werte als die DLR-Berechnung mit dem analytischen Modell und mit SIMMOD. Eine mögliche Ursache wäre die Verwendung einer unterschiedlichen Unterschreitungswahrscheinlichkeit.

### 4.3 Vergleichsrechnung Anflugkapazität Varianten 2, 9a, 9b, 10

Die Varianten 2, 3, 9a, 9b und 10 haben die gleichen Anflugverteilungen auf die beiden jeweils genutzten Landebahnen und für alle Varianten gelten die gleichen Anflugstaffelungen. Deshalb ist zu erwarten, daß die Anflugkapazität für diese Varianten gleich ist oder daß Unterschiede in den Anflugkapazitäten dieser Varianten nachvollziehbar sind. In Tabelle 4-1 sind zum einen die Ergebnisse dieser 4 Varianten für den East und den West Flow angegeben und eine Vergleichsrechnung des DLR mit dem analytischen Modell für zwei unabhängige Landebahnen.

Die Ergebnisse zeigen folgendes:

- In den FAA-Rechnungen treten ähnliche Unterschiede zwischen dem East Flow und dem West Flow wie in Variante 1a.
- Die DLR-Werte liegen über den FAA-Werten, was auf die Verkehrsverteilung zwischen den beiden Landebahnen zurückzuführen ist. Bei den DLR-Rechnungen wurden beide Bahnen als vollständig ausgelastet betrachtet, während die neue Bahn bei den FAA Rechnungen nicht ausgelastet ist.

Eingangsdaten	Modell (Anwender)	C <sub>s</sub>	C <sub>4-min</sub>
Szenario 2, Matrix 2.5, 4, 5, 6 NM, v=160 kt, Puffer aus 15s und 5% UW, West Flow	RDSIM (FAA [FAA99b])	(75.6)	57.0 (59.9)
Szenario 2, Matrix 2.5, 4, 5, 6 NM, v=160 kt, Puffer aus 15s und 5% UW, East Flow	RDSIM (FAA [FAA99b])	(72.1)	58.3 (52.0)
Szenario 3, Matrix 2.5, 4, 5, 6 NM, v=160 kt, Puffer aus 15s und 5% UW, West Flow	RDSIM (FAA [FAA99b])	(67.7)	54.9 (57.0)
Szenario 3, Matrix 2.5, 4, 5, 6 NM, v=160 kt, Puffer aus 15s und 5% UW, East Flow	RDSIM (FAA [FAA99b])	(72.1)	58.3 (54.0)
Szenario 9a/9b/10, Matrix 2.5, 4, 5, 6 NM, v=160 kt, Puffer aus 15s und 5% UW, West Flow	RDSIM (FAA [FAA99b])	(75.6)	67.1 (60.4)
Szenario 9a/9b/10, Matrix 2.5, 4, 5, 6 NM, v=160 kt, Puffer aus 15s und 5% UW, East Flow	RDSIM (FAA [FAA99b])	(72.6)	61.4 (55.2)
Matrix 2.5, 4, 5, 6 NM, 160 kt, Puffer aus 15s und 5% UW, existierende Bahn Parallelbahnsystem (H/M/L: 46.8/52.5/0.7), West und East Flow	Analytisch (DLR)	35.1	28.8
Matrix 2.5, 4, 5, 6 NM, 160 kt, Puffer aus 15s und 5% UW, Neue Bahn (H/M/L: 0.0/98.6/1.4), West und East Flow	Analytisch (DLR)	44.0	37.4
Summe existierende und neue Bahn	Analytisch (DLR)	79.1	

Tabelle 4-1: Berechnung der Anflugkapazität der Varianten 2, 3, 9a, 9b und 10, Present Mix, mit verschiedenen Modellen.

## 5. Anhang

### 5.1 Quellenverzeichnis

[DFS99]

**Betriebsanweisung für die Flugverkehrskontrolle**

Ausgabe 1999, DFS

[FAA96]

**SIMMOD Documentation**

DTFA01-93-C-00078, FAA/ATAC, Washington 1996

[FAA98]

**Aviation Capacity Enhancement Plan 1998**

FAA, Washington 1998

[FAA99a]

*Holladay, R. J.; Sononinka, F. J.*

**An Investigation of the Present and Potential Future Capacity of Frankfurt am Main International Airport**

DOT/FAA/CT-99/21, FAA, July 1999, Atlantic City

[FAA99b]

*Holladay, R. J.; Sononinka, F. J.*

**An Investigation of the Present and Potential Future Capacity of Frankfurt am Main International Airport - Technical Appendix**

DOT/FAA/CT-99/21, FAA, July 1999, Atlantic City

[FAA99c]

*Holladay, R. J.; Sononinka, F. J.*

**An Investigation of the Present and Potential Future Capacity of Frankfurt am Main International Airport Addendum 1**

DOT/FAA/CT-99/21, FAA, July 1999, Atlantic City

[FAG99]

**Luftverkehrsstatistik 1998 Flughafen Frankfurt Main**

FAG, Frankfurt 1999

[Fla99]

*Flache, T.; Lorenz, S.; Schiele, M.*

**Kapazitätsuntersuchungen mit SIMMOD für den Flughafen Frankfurt im Rahmen der Qualitätskontrolle des FAA-Gutachtens für die Mediationsgruppe Frankfurt**

IB 112-1999/25, DLR, Braunschweig 1999

[Hai78]

*Haines, A. L.*

**Parameters of Future ATC Systems Relating to Airport Capacity/Delay**

FAA-EM-78-8, FAA, Washington 1978

[Hor94]

*Horonjeff, R.; McKelvey, F. X.*

**Planning and Design of Airports**

McGraw-Hill, 1994

[Swe81]

*Swedish, W. J.*

**Upgraded FAA Airfield Capacity Model, Volume I: Supplemental User's Guide**

FAA-EM-81-1-Vol-1, FAA/MITRE, Washington 1981

## 5.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung des Heavy-Anteils am Flughafen Frankfurt im Vergleich mit Werten aus dem FAA-Gutachten [FAG99] .....	4
Abbildung 2: Prinzip der Anflugstaffelung mit Mindestabstand, Staffelungsverteilung und Sicherheitspuffer .....	5

## 5.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Ergebnisse aus dem Kapazitätsgutachten der FAA [FAA99b], sortiert nach Gesamtkapazität im Future Mix West Flow (kursiv = Varianten mit Überhang an Abflugkapazität).....	3
Tabelle 3-1: Abflug/Abflugstaffelungen aus der FAA-Studie für Abflüge von gleicher Bahn oder eng benachbarten Parallelbahnen [FAA99b].....	7
Tabelle 3-2: Mittlere Bahnbelegungszeiten nach [FAA99b] .....	7
Tabelle 3-3: Prozentuale Verteilung von Starts, Landungen und Gesamtbewegungen auf die Pisten in den einzelnen Varianten beim <b>Present</b> Mix (Summe der Prozente pro Variante/Flow/Operationsart ergibt jeweils 100%).....	10
Tabelle 3-4: Prozentuale Verteilung von Starts, Landungen und Gesamtbewegungen auf die Pisten in den einzelnen Varianten beim <b>Future</b> Mix (Summe der Prozente pro Variante/Flow/Operationsart ergibt jeweils 100%).....	11
Tabelle 4-1: Berechnung der Anflugkapazität von Variante 1a, Present Mix, mit verschiedenen Modellen und Eingangsdatensätzen. ....	15
Tabelle 4-2: Berechnung der Anflugkapazität von Variante 1b, Present Mix, mit verschiedenen Modellen und Eingangsdatensätzen. ....	17
Tabelle 4-3: Berechnung der Anflugkapazität der Varianten 2, 3, 9a, 9b und 10, Present Mix, mit verschiedenen Modellen.....	19

# **Zusammenstellung wichtiger Zusatzinformationen**

**- Teil C des Technischen Anhangs -**

Johannes Reichmuth

Standort Braunschweig  
© Institut für Flugführung  
Leiter: Dr.-Ing. U. Völckers

August 99

Version 1.0

## Inhalt

1.	Technische Fragen I der Qualitätssicherung an FAA .....	1
2.	FAA Antworten I auf technische Fragen .....	1
3.	Technische Fragen II der Qualitätssicherung an FAA .....	2
4.	FAA Antworten II auf technische Fragen .....	2
5.	Anfrage Mediationsgruppe an FAA zu neuen Konfigurationen.....	2
6.	FAA Antworten auf Fragen zu neuen Konfigurationen.....	3
7.	Kapazitätswerte Konfiguration 13.....	4
8.	FAX Kapazitätswerte Konfiguration 14.....	5

## 1. Technische Fragen I der Qualitätssicherung an FAA

Auszug Email an FAG vom 2.7.99

1. *The average speed on final approach is assumed to be 160 kt for all a/c classes. Compared to other studies this value is considerably higher than the values of 130 - 140 kt commonly used in capacity studies. What is the reason for this?*
2. *Which values were assumed for the interarrival error and the violation probability?*
3. *Is there a special reason to use a common approach path length of 15 - 25 nm?*
4. *Why are the departure/departure separations on close parallels higher than the corresponding departure/departure separations on one runway?*
5. *What are the sources for the separation assumptions (like national standards, measurements, controller estimates)?*
6. *Which separation values were used for the dependencies between operations on the old parallels/new runway against operations on runway 18?*
7. *What was the concept for the runway assignment of arrivals and departures used for the distribution of traffic between existing and new runways?*
8. *The only documentation we have on RDSIM is from the FAA capacity studies on the ACE CDs and the description on the TechCenter's internet page. Is there any more detailed documentation of the model available?*

## 2. FAA Antworten I auf technische Fragen

Email FAA übermittelt durch FAG vom 13.7.99

*Question #1 - approach speed of 160 kt.*

*In February, Frankfurt Airport and the FAA met with DFS at Frankfurt and discussed inputs to be used for the simulations. At this meeting the approach speeds were discussed and agreement was reached. Even though the 160 kt. approach speed is high it is somewhat compensated for by the long common approach path of 15 - 25 nm (question #3).*

*Question #2 - Interarrival error and violation probability*

*Interarrival error was: class 1 - 0.70nm; class 2 - 0.65nm; class 3 - 0.60 nm*

*Violation probability was 5 % using one tailed normal distribution.*

*Question #3 Common approach of 15 - 25 nm*

*The common approach path length was discussed also at the meeting in February with DFS. The 15 - 25 nm common approach was the agreed upon number because essentially no aircraft will be turned onto the final approach closer than 15 nm to the runway under IMC -CAT I conditions (the only weather condition modeled). The actual length of common approach used in all the simulations was 15 nm.*

*Question #4 - Separations on close parallels higher than on same runway*

*Unfortunately, no matter how many times things are checked something always slips through. The separations on the close parallel runways are identical to those on the same runway. The table in the appendix for departure - departure separations for close parallel runways is correct and was used in the simulations for both the same runway and close parallels. The table shown as departure - departure separations on the same runway corresponds roughly to a VFR separation table for the same runway and was not used in the simulations. This table has been revised to its correct values.*

*Question #5 Basis for separation assumptions*

*Since the simulations only addressed IMC -CAT I conditions the basis for the minimum separation was the ICAO air traffic manual. The distribution used in separation calculations was a standard normal distribution with its parameters determined by data collection efforts in the United States. The separation values were then agreed upon with DFS.*

*Question #6 Separations used for RWY18 with old parallels and new runways*

*These separations are discussed in the appendix for each specific scenario. In general, the rule applied was to guard against an aircraft making a missed approach on either 25L or the new runway when a departure wished to use RWY18.*

#### Question #7 Runway assignment assumptions

The underlying assumption regarding runway use was to preserve, if possible the historical traffic patterns. In the case of departures, this meant using the parallel runways and runway 18 in the manner they are used today. In the case of arrivals, when a new runway was present, adjustments were made to try to balance the demand between the available runways. Detailed runway assignments appear for each scenario in the appendix.

#### Question #8 - Documentation of RDSIM

Unfortunately, the answer to the question is no. RDSIM was developed at the FAA Technical Center during the early 1980's because of ADSIM using a great deal of computer time. If you did not simulate the taxiway movements of aircraft it is possible to speed up the model and use much less computer time, hence RDSIM was born. In its development RDSIM was checked against ADSIM and produced identical results for the runway operations. In modern practice, RDSIM is used almost exclusively in its capacity mode and not in its delay mode. With the vast increases in computer speed the need for RDSIM is almost nonexistent.

### 3. Technische Fragen II der Qualitätssicherung an FAA

#### Auszug Email DLR an FAA vom 23.7.99

thanks for your answers to our detailed questions from July, 2nd. From that list there is only one question open regarding the separation values between operations on the old/new parallels on the one hand and operations on runway 18 on the other hand. You mentioned in your answer that these parameters are discussed in the appendix. That is true, but the values themselves are not contained in the appendix.

In addition the mediation group would like to know the variance of your simulation results (e. g. +/- 2 movements per hour) to get a feeling if two scenarios are distinguishable. In the last mediation meeting we (the quality controllers) were not able to answer this question because we don't have the results of the single simulation runs.

### 4. FAA Antworten II auf technische Fragen

#### Auszug FAG Email vom 28.7.99

In answer to Mr. Knabe's question on the actual values used for the departure to arrival separation between departures on 18 and arrivals on 25L the following table presents these values.

ALL VALUES ARE IN NAUTICAL MILES FROM ARRIVAL THRESHOLD.

#### Depart 18 - Arrive 25L

Trail				
Lead		Heavy	Medium	Small
	Heavy	1.5	1.25	1.25
	Medium	1.25	1.25	1.25
	Small	1.25	1.15	1

#### Depart 18 - Arrive 25S

Trail				
Lead		Heavy	Medium	Small
	Heavy	3	2.5	2.5
	Medium	2.5	2.5	2.5
	Small	2.5	2.3	2

As regards the other question of confidence intervals for the total flow numbers for the scenarios, the RDSIM model does not calculate this explicitly. For each runway, a standard deviation is calculated for the flow rate and delay on that runway during that hour. Examining these values for several of the simulations, I saw a range of standard deviations from 2 up to about 6. The values seemed consistent between the arrivals and departures in the same hour.

### 5. Anfrage Mediationsgruppe an FAA zu neuen Konfigurationen

#### Auszug Email an FAG 6.7.99

*Under the assumption of future traffic mix and a PRM system in operation the mediation group is interested on the minimum parallel offset of two new RWYs in a configuration (Frankfurt today without RWY 18, but a 760 m spaced new parallel system in the south) similar to Atlanta that achieves the goal of 120 movements / hour practical capacity.*

*Also of interest are the minimum RWY lengths for the new system in the south necessary to reach 120 movements / hour.*

*In order to assess configurations of a single new RWY in the south without RWY 18 in combination with a Wiesbaden - Erbenheim RWY the capacity values of variants for configuration 1b, 2, 2a and 3 without a RWY 18 should be assessed.*

*If a simple addition of the Wiesbaden-Erbenheim capacity is not feasible to predict the capacity potential of the 4 RWY systems as a whole, calculations for combinations without RWY 18 but with the Wiesbaden-Erbenheim RWY for 1b, 2, 2a and 3 (based on future's traffic mix and PRM in use) are required.*

## 6. FAA Antworten auf Fragen zu neuen Konfigurationen

### Auszug Email an Mediationsgruppe 9.7.99

*I think essentially, Dr. Ewen asked three questions:*

*Question 1 - what is the minimum spacing to conduct an "Atlanta" type scenario and the required runway lengths;*

*Question 2 - a proposal for 4 new scenarios all without RWY 18 and with a new runway in the south with the use of the Wiesbaden-Erbenheim runway;*

*Question 3 - is it possible to determine the independent capacity potential of the Wiesbaden-Erbenheim runway so that it can be added to other scenarios?*

*In response I propose the following:*

*Question 1 - The minimum spacing to conduct an "Atlanta" type scenario, under current ICAO rules, is 5,000 ft centerline separation between the arrival runways without PRM and 3,400 ft with PRM.*

*Question 2 - These are new scenarios: no current scenarios proposed the closing of RWY 18 (the "Atlanta" scenario was added later) also, this has the potential to severely impact departure capacity and no current scenario proposed using Wiesbaden-Erbenheim as a fourth parallel runway for Frankfurt (third - yes; fourth - no)*

*Question 3 - with the current data available it is not possible to isolate the effect of the Wiesbaden-Erbenheim runway. All scenarios evaluating the Wiesbaden-Erbenheim runway used the assumption of traffic relocating there from Frankfurt not using it as an independent separate runway; therefore, it is impossible to factor out its effect from the current results. An additional comment is necessary on the capability of the airspace to conduct what amounts to be quadruple approaches:*

*independent approaches to Wiesbaden-Erbenheim,*

*staggered PRM approaches to the existing parallels at Frankfurt and*

*independent approaches to the new runway in the south.*

*Although DFS should be the principal commentor on this proposal, as we said in the briefing to the mediation panel, the presentation to the air traffic working group and in the report: we feel that the airspace appears to be insufficient to support this level of activity in the airspace available especially considering all departures will be taking off on the parallel runways.*

## 7. Kapazitätswerte Konfiguration 13

Auszug aus FAG Fax vom 4.8.99

*Kapazitätswerte zum Szenario 13 (südliche Parallelbahn, ohne RWY 18)*

	Present		Future	
	West	East	West	East
<b>Arrivals</b>	57	59	53	53
<b>Departure</b>	58	60	55	57
<b>Total</b>	115	119	108	110
<b>Weighted</b>	116		109	

## 8. FAX Kapazitätswerte Konfiguration 14

Auszug aus FAG Fax vom 6.8.99

*Kapazitätswerte zum Szenario 14 (südliche Parallelbahn, ohne RWY 18 und Wiesbaden-Erbenheim)*

	Present		Future	
	West	East	West	East
<b>Arrivals</b>	82	83	72	72
<b>Departure</b>	83	84	76	77
<b>Total</b>	165	167	148	149
<b>Weighted</b>	166		148	

*Diese Werte berücksichtigen einen Anteil von 10% Heavy-Flugzeugen in Wiesbaden-Erbenheim, wobei die bisher verwendeten Flotten-Mixe beibehalten werden.*



NLR-CR-99374

**Quality Control of the FAA report:  
"Investigation of the Present and Future  
Capacity of Frankfurt am Main International  
Airport"**

H.A.J.M. Offerman

**- Teil D des Technischen Anhangs -**

This investigation has been carried out under a contract awarded by Meditationsgruppe Flughafen Frankfurt, contract number (fax 0031/20/5 11-3210).

No part of this report may be reproduced and/or disclosed, in any form or by any means without the prior written permission of Meditationsgruppe Flughafen Frankfurt.

Division: Air Transport  
Issued: August 20, 1999  
Classification of title: Unclassified



## **Summary**

NLR was invited to participate in a quality control review body, together with DLR Braunschweig and Büro Oliva, to provide comments on a study performed by the U.S. Federal Aviation Authority FAA called: "An investigation of the present and potential future capacity of Frankfurt am Main International Airport".

This report provides NLR comments on the FAA report mentioned and forms part of an integrated report by the three parties mentioned above.

It can be concluded that the major conclusions made by FAA are correct



## Contents

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Review of the FAA report</b>	<b>4</b>
2.1	General	4
2.2	Plausibility of the assumptions used ( <i>Plausibilität der Annahmen</i> )	5
2.3	Methodology ( <i>Methodik</i> )	6
2.4	Verification ( <i>Nachvollziehbarkeit</i> )	7
2.5	Plausibility of the conclusions ( <i>Plausibilität der Schlussfolgerungen</i> )	7
2.6	Completeness ( <i>Vollständigkeit</i> )	8
2.7	Further Runway Configurations ( <i>Weitere runway konfigurationen</i> )	9
<b>3</b>	<b>Conclusions</b>	<b>9</b>
	<b>Appendix D1: Third Party (aviation) Risk in the Netherlands</b>	<b>10</b>

## 1 Introduction

NLR was asked to participate in a quality control review body, together with DLR Braunschweig and Büro Oliva, to provide independent expert comments on a study performed by the U.S. Federal Aviation Authority FAA called: "An investigation of the present and potential future capacity of Frankfurt am Main International Airport". The review committee was installed by the "*Mediationsgruppe Flughafen Frankfurt*" to provide an independent, international view of the work carried out by the FAA.

The study was started with a formal appreciation of the external reviewers; DLR, Büro Oliva and NLR on May 12. The actual work started when the review group received the FAA report on June 14. Interim results were presented by all reviewers on June 30, at a meeting of the *Mediationsgruppe* in Flörsheim am Main. On July 16, the reviewers (except NLR) presented further results to the *Mediationsgruppe* regarding the work carried out by the FAA.

This report forms part of an integrated final report by the Quality controllers DLR, Büro Oliva and NLR, which will be presented to the *Mediationsgruppe* in August 1999.

## 2 Review of the FAA report

### 2.1 General

In close co-operation with DLR and Büro Oliva an agenda was made up to provide the conclusions of the group, both separately and as one body, in the same manner.

The following items can be identified in the review:

1. *Plausibilität der Annahmen*  
Plausibility of the assumptions used
2. *Methodik*  
Methodology
3. *Nachvollziehbarkeit*  
Verification
4. *Konsistenz*  
Consistency
5. *Plausibilität der Schlussfolgerungen*  
Plausibility of the conclusions
6. *Vollständigkeit*  
Completeness
7. *Weitere RWY-konfigurationen*  
Further Runway configurations

It was also asked to provide comments on the sensitivity of parameters used and the error-band of the FAA models used.

## **2.2 Plausibility of the assumptions used (*Plausibilität der Annahmen*)**

The foremost important assumption the FAA used in evaluating the different runway configurations is the number of flight operations: 120 movements per hour with an (average) delay of 4 minutes.

The figure used, as supplied by Flughafen Frankfurt A.G. (FAG), however does not indicate in more detail what is meant by it. Must it be regarded as the 'maximum' (runway) capacity, or as the 'declared' capacity or as the 'sustained' capacity? Furthermore it is assumed that all operations are carried out within the IMC cat.1 weather condition. Can more deteriorated weather conditions, such as cat.2 or cat.3 be regarded as happening only a few days in one year, thus be regarded as too infrequent?

Based on page 4 of the FAA report 'Working Paper 2: Data inputs and Operational Procedures' the FAA considers its most important assumptions as:

- airport descriptive data
- aircraft fleet mix
- aircraft performance
- aircraft separations
- runway dependencies
- operating scenarios

To review all these assumptions on their correctness is extremely difficult within the short time span allowed to present these conclusions. Only qualitative statements can be made regarding these assumptions.

- The presented tables seem to be correct. The Runway Occupancy Time's (ROT's) are supposedly received from DFS or the FAG.
- Tables 1 to 9 seem correct; they show no anomalies.
- Table 10 seems optimistic in its ROT for the aircraft class Heavy (70% in 40 seconds) and a little bit conservative for the class Light. These ROT numbers can further be optimised using a proper system of high-speed taxi-exits.
- Table 11 (departure runway ROTs) seems correct.
- Table 12 (approach parameters) is a very important table, especially regarding the sensitivity of its parameters on the final result. The used parameter 'Length of Common Approach path' of 15 N.M. is very crude and depends very much on the used Air Traffic Controllers' procedures. The 'average speed on final approach' can be regarded as one of

the parameters to further increase a landing runway's capacity: increase the final approach speed to 180 kts (mediums and heavy).

- Table 13 (airfield class mix) is supposedly being given by the FAG. However, what can be very important to discuss is the class mix over the day (by the hour). This depends very much on the operation in use by Frankfurt's major carrier (Deutsche Lufthansa): the numbers as such can be correct but it can be the case that for instance 60% of all heavies land between 0700 and 1000 hrs (arrivals from US and Far Eastern). This will influence the required capacity numbers with respect to the time of the day.
- Tables 14 to 20 (separation values) seem correct, but it must be remarked that the actual values depend on the actual Standard Instrument Departure route(s) and Standard Arrival Route(s) used. Again, the model probably uses averages without taking into account optimised procedures DFS has at its disposal.

On page 13 of the main report of the FAA, chapter Methodology, the FAA assumes a 50% arrivals, 50% departures split as being representative for Frankfurt. This can be questioned and must be checked through DFS and Deutsche Lufthansa. As an average this value can be true, but is very much depending on the actual use by the major airlines. If the airlines use the airport as a Hub and Spoke system, one has a different mix depending on the time of day. For instance: Lufthansa has a departure peak at 0800 hrs where the mix of departures/arrivals can be respectively 70% / 30%. If too few departure runways are present this will obviously lead to departure delays, which might disrupt the rest of the Lufthansa schedule, including creating (arrival) delays for returning aircraft. In other words, the average value used in the RDSIM model, may be correct to represent the average day operation of Frankfurt Airport but it must be stressed that the proposed or future runway configuration must be able to handle traffic peaks of 70% arrivals / 30 % departures and vice versa.

### **2.3 Methodology (*Methodik*)**

The FAA Technical Centre used their RDSIM simulation model to evaluate the capacity figures for the different runway system configurations. Unfortunately, NLR has no experience with the use of RDSIM and as such is neither in the position to comment on the usefulness of the model nor on the correctness of the results. DLR is able to comment on this.

However, being an experienced user of TAAM (the Total Airspace and Airport Modeller) –a fast time simulation tool- and having done similar studies in the Netherlands for evaluating runway systems of Schiphol airport and evaluating new (reliever) airport locations, NLR is a little bit anxious to rely on a limited capability model as RDSIM for these kind of societal

relevant conclusions. The use of RDSIM should be restricted to relative use (comparing runway configurations) and not to obtain absolute values.

Other more capable models like SIMMOD (used by DLR) or TAAM (used by DFS, NLR) seem to be more appropriate.

The other parameter varied by the FAA is using a Precision Runway Monitor (PRM) for arrivals (and possibly departures) for the closely spaced parallel runways 25/07. It shows that the total capacity using PRM increases, as can be expected because of the decreased separation between simultaneous aircraft arrivals on these parallel runways. The operational and regulatory conditions to operate a PRM are not further detailed in the report.

#### **2.4 Verification (*Nachvollziehbarkeit*)**

A proper verification of the results presented can only be made by making some control calculations by other means. Within the time frame at hand, no verification calculations were made by NLR.

#### **2.5 Plausibility of the conclusions (*Plausibilität der Schlussfolgerungen*)**

The conclusions made by the FAA and documented on page 37 and 28 (Summary and conclusions) of their main report can be considered as correct, based on the calculations made and the runway configurations given.

The section below is an NLR amendment to the questions asked by the *Mediationsgruppe* and forms no part of the actual expertise review of the FAA report.

NLR wants to make some comments on the proposed runway systems being able to handle 120 flight operations per hour: in particular configurations 9, 9a and 10. These three configurations require a new third parallel runway (for arrivals only) to the north of the present airfield. Without a geographical map of the surroundings of the airfield one could conclude these options could be valid. However, taking into account the situation of this third runway in its surroundings, its close distance to large populated area's, the conclusion could be drawn that these options must be studied in more detail taking in the following remarks.

Based on NLR's experience with the Schiphol situation in the Netherlands, only evaluating the growth of an airport by looking at the systems capacity, and not looking at the effects of flight operations on the environment and their safety implications, would render the study useless.

The new third parallel, northern runway probably creates noise problems for the people in the direct vicinity of arrival and departure routes in addition to the arrivals/departures noise hindrance of the current system. Calculations of noise contours probably shows, especially in relation with the FAA assumption using current ATC procedures, that a large populated area will be affected by extra noise hindrance. Optimisation of arrival routes, arrival flight procedures and ATC procedures, however, could alleviate the 'problem' to tolerable levels.

Also it must be said that the present noise regulation in the Netherlands is not the same as in Germany and this conclusion remains NLR's opinion only. On the other hand, it can be expected within the next decade(s) that the European Commission will issue noise regulations for each EU member. The severity of these regulations is expected to increase in relation to the current situation.

Another issue is the so-called Third Party risk, in more detail described in Appendix A. In the Netherlands the government stipulates for each industrial area (factories, chemical plants, refineries etc) that a calculation is made which determines the risk for people living in the vicinity of this industrial area being killed by an accident from this area. This is also the case for Amsterdam Airport Schiphol. A risk model calculates the risk for an individual being killed by an aircraft crash; the model calculates analogue to a noise contour a risk contour. The Dutch government uses these contours to create a 'safe zone' around Schiphol, in which no new house building activities can be initiated by local governments or municipal authorities.

Without suggesting these kind of calculations or regulatory issues to be implemented by the German government or 'Landesregierung', one must be aware of this phenomenon and its implications when studying new runway configurations.

Based on the discussion at the '*Mediationsgruppe*' meeting on June 30<sup>th</sup>, at Flörsheim am Main, it was made clear by the member of the FAG that already considerations in conformance to the above had been made when various configurations were given to the FAA for evaluation. With this in mind the FAG did not consider runway alternatives to the south of the current system to be valid: extension with a northern runway would obviously increase the number of people troubled by noise etc, but effectively would be relatively better.

## **2.6 Completeness (*Vollständigkeit*)**

The report can be considered complete taking into account the assumptions given to the FAA, the limitations of the model used and the level of requested detail.

In the main report the FAA stresses its conclusion to be prudent with the results obtained by this study: a more detailed study is necessary to gain insight in issues like taxiway movements, gate capacity, noise and other environmental issues, airspace constraints etc.

A sensitivity indication of the main parameters used in the model would have been helpful to provide insight in the possible fluctuations in the results. Especially this concerns:

- the mix Heavy, Medium, Light
- fluctuations in the arrival/departure demand, both with respect to the quarterly (hour) distribution and place of origin/destination
- variation of final approach speed (not considered)
- wake turbulence separation values (departure and arrival)
- ...

### **2.7 Further Runway Configurations (*Weitere runway konfigurationen*)**

The runway configurations studied seem to be complete. The question whether any further runway configuration would be possible is valid taking into account the remarks made above concerning noise and third party risk issues.

One system proposed by a German pilot's association 'Vereinigung Cockpit' refers to the Atlanta Hartsfield concept: two by two closely spaced parallel runways.

In normal operation the outer runways can be used as an independent system (for arrivals) and the inner runways are used for departures. To obtain almost 900.000 flight operations per year Atlanta uses some ATC procedures that are drastically different from the ones used in Europe. One of the most important is the use of visual flight procedures. Others are 'landing clearance based on anticipated separation' and specific landing capacity increasing measures. One of the ATC issues important to mention in this respect is that to obtain the above-mentioned capacity, the Atlanta ACC (Area Control Centre) starts to built up the traffic flow to the airport almost 200 N.M. out.

Variations of the Atlanta Hartsfield configuration could be possible for the Frankfurt situation (not taking into account considerations with respect to noise and third party risk!). One remark to this four-runway system: because no alternate crosswind runway will be available one will be more dependent of the actual wind direction.

No other options were thought to be valid or politically acceptable.

## **3 Conclusions**

The main conclusion is that the FAA report can be considered correct, although some discussion on the assumptions used would have been helpful.



## **Appendix D1: Third Party (aviation) Risk in the Netherlands**

Airports are hubs in the air transportation system. Consequently, their presence causes a convergence of air traffic over the area surrounding the airport. For the population living in the vicinity of an airport this implies involuntary exposure to the risk of aircraft accidents.

Although the probability of an accident per flight is very small, actual local risk levels around airports are higher than one might expect. Reason for this is that while the probability of an accident per take-off or landing is very small (typically in the order of 1 in one million), very large numbers of movements (typically several hundred thousand) are performed at major airports. These observations are confirmed by operational experience. Aircraft accidents involving considerable numbers of third party victims do occur several times a year.

The Dutch government has made the external safety requirements for Schiphol airport part of Dutch law. For each year, based on the anticipated air traffic volume and characteristics, the third party risk around Schiphol is calculated by NLR. The method used to calculate third party risk around airports consists of three main elements. First, the probability of an aircraft accident in the vicinity of the airport must be determined. This probability depends on the probability of an accident per aircraft movement (a landing or a take-off) and the number of movements carried out per year. The probability of an accident per movement, the accident rate, is determined from historical data.

The local probability of an accident is not equal for all locations around the airport. The probability of an accident in the proximity of the runways is higher than at larger distances from the runways. Also, the local probability of an accident is larger in the proximity of routes followed by arriving and departing air traffic. This dependence is represented in an accident location probability model, which is the second main element of the third party risk assessment methodology. The accident location probability model is based on historical data on accident locations.

Accident effects may have lethal consequences at considerable distances from the impact location. The dimensions of the accident area and the lethality of the accident effects, as a function of the aircraft parameters, impact parameters, and possibly terrain, are defined in the consequence model, the third main element of the third party risk assessment methodology.



Through the combination of the three main elements described above and input data describing the specific airport, its surroundings, and its air traffic, individual risk<sup>1</sup> and societal risk<sup>2</sup> can be calculated.

After local individual risks have been calculated for the entire area around an airport, risk contours can be generated and plotted on a geographical map, not unlike noise contours. Figure 5 shows individual risk contours for Schiphol airport with the expected 2015 route-structure and traffic distribution. Risk levels indicated by the contours are 10<sup>-5</sup>/yr, 10<sup>-6</sup>/yr and 10<sup>-7</sup>/yr. The highest risk levels (10<sup>-5</sup>/yr) occur close to the runway thresholds and are present in a relatively small area only. The lower risk levels occur at larger distances from the runways and the routes followed by arriving and departing traffic. The runways that are used by the majority of traffic show larger individual risk contours than those that are used less often. Individual risk contours are used for zoning purposes at Amsterdam Schiphol airport. Where maximum allowable individual risk levels are exceeded in municipalities, houses will actually be removed. The difference in the number of houses exposed to an individual risk level exceeding 10<sup>-6</sup>/yr has successfully been used as a criterion in deciding upon different runway configuration options aimed at increasing the future capacity of Amsterdam Airport Schiphol.

The external safety requirements could become a limiting factor for further growth of Schiphol in the future.

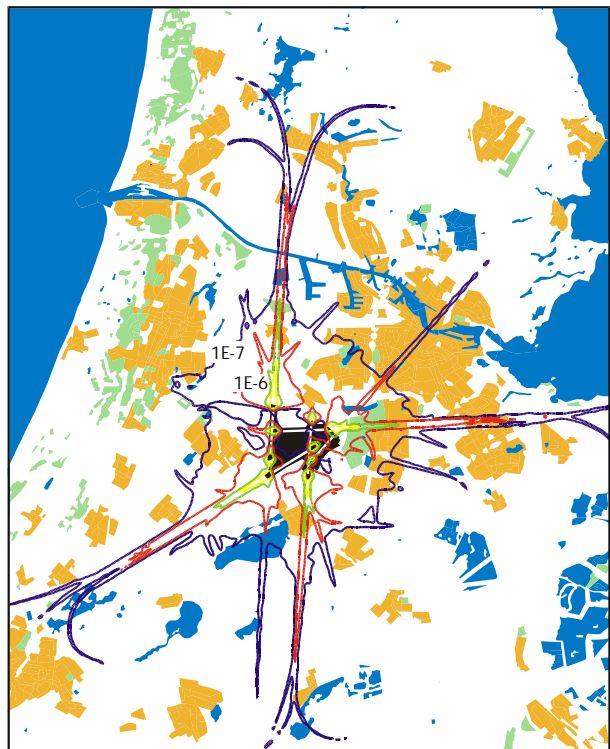


Figure 1: Schiphol Individual Risk Contours

<sup>1</sup> Individual risk is defined as the chance that a person staying at a fixed location permanently is killed as a result of an accident in the hazard source. It is expressed in units per year.

<sup>2</sup> Societal risk is defined as the probability that N or more people are killed as a direct consequence of a single accident. It is expressed in units per year.

# **Auszugsweise Übersetzung des NLR Beitrags (Teil C)**

**- Teil E des Technischen Anhangs -  
Übersetzung Cornelia Hüttenmoser**

## Zusammenfassende technische Beurteilung des FAA-Gutachtens (Übersetzung des Beitrags des NLR)

### **1. Einleitung**

Büro Oliva, DLR und NLR wurden angefragt, an einer Gutachtergruppe zur Qualitätskontrolle teilzunehmen, um unabhängige Aussagen von Experten über eine Studie der US-amerikanischen Luftfahrtbehörde FAA zu erhalten. Die Studie trägt den Titel: "An investigation of the present and potential future capacity of Frankfurt am Main International Airport".

Die Gutachtergruppe wurde durch die "Mediationsgruppe Flughafen Frankfurt" beauftragt, aus einer unabhängigen, internationalen Sicht die Arbeiten, die durch die FAA ausgeführt wurden, zu beurteilen.

Die Studie begann mit einer formalen Würdigung durch die einzelnen Mitglieder der externen Gutachtergruppe; DLR, Büro Oliva und NLR am 12. Mai 1999. Die eigentliche Arbeit hat am 14. Juni 1999 angefangen, als die Gutachtergruppe den FAA-Bericht erhielt. Die ersten Resultate wurden am 30. Juni 1999 in Flörsheim am Main an einer Sitzung der Mediationsgruppe durch alle Mitglieder der Gutachtergruppe präsentiert. Weitere Resultate betreffend der durch die FAA durchgeführten Untersuchung wurden am 16. Juni 1999 durch die Gutachtergruppe (ausser der NLR) der Mediationsgruppe vorgestellt.

### **2. Beurteilungskriterien**

In enger Zusammenarbeit der DLR und dem Büro Oliva wurde eine Agenda (Tagesordnung) erarbeitet, um Konklusionen für die Gruppe zu erarbeiten, alle separat und als gemeinsame Körperschaft, nach dem gleichen Arbeitsplan.

Die folgenden Punkte können für die Überprüfung identifiziert werden:

1. *Plausibilität der Annahmen*  
Plausibility of the assumptions used
2. *Methodik*  
Methodology
3. *Nachvollziehbarkeit*  
Verification
4. *Konsistenz*  
Consistency
5. *Plausibilität der Schlussfolgerungen*  
Plausibility of the conclusions
6. *Vollständigkeit*  
Completeness
7. *Weitere Bahn-Konfigurationen*  
Further Runway configurations

Ebenfalls war die Gutachtergruppe gebeten, einen Kommentar über die Sensitivität und die fehlerbandbreite des FAA-Modells abzugeben.

### **3. Plausibilität der Annahmen**

Die Anzahl der Flugbewegungen ist überhaupt die wichtigste Annahme der FAA zur Evaluierung der verschiedenen Bahnkonfigurationen: 120 Flugbewegungen pro Stunde mit einer (durchschnittlichen) Verspätung von 4 Minuten.

Die verwendeten Zahlen, wie sie durch die Flughafen Frankfurt A.G. (FAG) geliefert wurden, geben, wie auch immer, keine genauere Auskunft, wie sie verstanden werden sollen. Müssen sie als die "maximale" (Bahn) Kapazität, oder als die "deklarierte" Kapazität oder als die "nachhaltige" Kapazität verstanden werden? Ausserdem wird angenommen, dass Flugoperationen in IMC (Instrument Meteorological Condition) Cat. I Wetterbedingungen durchgeführt werden. Können schlechtere Wetterbedingungen, wie sie z.B. bei Cat. II oder Cat. III Verhältnissen herrschen, so verstanden werden, dass sie an einigen wenigen Tagen während des Jahres auftreten und daher als selten verstanden werden müssen?

Gemäß Seite 4 des FAA-Berichtes „Working Paper 2: Data inputs and Operational Procedures“ berücksichtigt die FAA die folgenden sehr wichtigen Annahmen:

- |                            |                              |
|----------------------------|------------------------------|
| ◆ airport descriptive data | Beschreibende Flughafendaten |
| ◆ aircraft fleet mix       | Flugzeugtypen-Mix            |
| ◆ aircraft performance     | Flugzeugleistung             |
| ◆ aircraft separations     | Flugzeugseparationen         |
| ◆ runway dependencies      | Bahnabhängigkeiten           |
| ◆ operating scenarios      | Betriebsszenarien            |

Es ist äußerst schwierig, in der kurzen Zeitspanne, die der Gutachtergruppe zur Verfügung steht, sämtliche dieser Annahmen bezüglich der Korrektheit ihrer Schlußfolgerungen zu überprüfen.

Die präsentierten Tabellen sind korrekt. Die Bahnbelegungszeit (ROT's) sind angeblich von der DFS oder der FAG vermittelt worden.

Die Tabellen 1 bis 9 sind korrekt, sie zeigen keine Anomalien auf.

- ◆ Tabelle 10 ist optimistisch bez. der Bahnbelegungszeit (ROT) für Flugzeuge der Kategorie 'Heavy' (70% in 40 Sekunden) und ein wenig konservativ für die Kategorie 'Light'. Diese ROT-Zahlen können weiter optimiert werden, wenn ein angemessener 'High-Speed-Taxiway'-Ausgang benützt wird.
- ◆ Tabelle 11 (Abflugbahn ROT's) ist korrekt.

Tabelle 12 (Anflugparameter) ist eine sehr wichtige Tabelle, insbesondere im Hinblick auf die Sensitivitätsparameter des Schlußresultates. Der Parameter "Distanz des allgemeinen Anflugweges" von 15 nautischen Meilen ist sehr allgemein und ist sehr von den durch die FlugverkehrsleiterInnen angewandten Prozeduren abhängig. Die "durchschnittliche Anfluggeschwindigkeit im Endanflug" kann als auch als ein Parameter verstanden werden, um weitere Anflugkapazitäten zu schaffen: z.B. Erhöhung der Anfluggeschwindigkeit im Endanflug auf 180 Knoten (Flugzeuge der Kategorien "Medium und Heavy").

- ◆ Tabelle 13 (Flugzeugtypen-Mix) ist angeblich von der FAG bereitgestellt worden. Wie auch immer, was sicher sehr wichtig zu diskutieren ist, ist die Variation des Flugzeugtypen-Mix (pro Stunde) über den Tag hin. Dieser dürfte sehr von den gebräuchlichen Flugoperationen der hier beheimateten Fluggesellschaft (Deutsche Lufthansa) abhängen: Die Angaben als solches können variiert werden, jedoch kann es der Fall sein, daß z.B. 60 % aller Flugzeuge der Kategorie "Heavy" zwischen 07.00 und 10.00 Uhr landen (Ankunft aus den USA und Fernost). Dies würde die verlangten Kapazitätsangaben mit Bezug auf die Tageszeit beeinflussen.
- ◆ Die Tabellen 14 bis 20 (Separationswerte) sind korrekt, aber es muß hinzugefügt werden, daß die gegenwärtigen Werte von den zur Anwendung gelangenden Standardabflugrouten SID und den Standardanflugrouten STAR abhängig sind. Wiederum, das Modell benutzt höchstwahrscheinlich Mittelwerte, ohne die optimierten Prozeduren, welche die DFS zur Verfügung hat, zu berücksichtigen.

Auf Seite 13 des Hauptberichtes der FAA, Kapitel Methodologie, nimmt die FAA einen 50 zu 50 Prozent Split der An- und Abflüge an, die für den Flughafen Frankfurt als repräsentativ gelten. Das kann in Frage gestellt werden und sollte durch die DFS und die Deutsche Lufthansa geprüft werden. Als ein Durchschnittswert, kann dieser Wert als wahrer Wert verstanden werden, ist jedoch sehr von den in Frankfurt beheimateten Fluggesellschaften und ihrem Gebrauch des Flughafens abhängig. Wenn die Fluggesellschaften den Flughafen Frankfurt als HUB-SPOKE-System benutzen, dann erhält man einen anderen Mix, in Abhängigkeit der Tagesstunde. Hätte zum Beispiel Lufthansa eine Abflugspitze um 08.00 Uhr, dann kann der Abflug/Anflug Mix 70% / 30% sein. Wenn zu wenige Startbahnen zur Verfügung stehen, dann wird diese Situation offensichtlich zu Abflugverspätungen führen, welche den restlichen Flugplan der Lufthansa stören, inbegriffen sind die (Anflug-) Verspätungen der zurückkehrenden Flugzeuge. Mit anderen Worten, der Mittelwert, der im RDSIM Modell angewendet wird, mag für die Repräsentierung der Flugoperationen eines durchschnittlichen Tages korrekt sein, aber es muß betont werden, daß die vorgeschlagenen oder die zukünftigen Bahnkonfigurationen in der Lage sein müssen, eine Verkehrsspitze von 70 % Anflüge / 30 % Abflüge und umgekehrt zu bedienen.

#### **4. Methodik**

Das technische Zentrum der FAA benutzte ihr RDSIM Simulationsmodell für die Evaluierung von Kapazitätswerten unter der Benutzung von verschiedenen Bahnsystemkonfigurationen. Leider, besitzt das NLR keine Erfahrung in der Anwendung des RDSIM und ist in der Folge auch nicht in der Lage, die Nützlichkeit des Modells oder die Korrektheit der Resultate zu kommentieren. Die DLR ist imstande dies zu kommentieren.

Wie auch immer, als ein erfahrener Anwender von TAAM (the Total Airspace and Airport Modeller) - ein Schnellzeitsimulationsinstrument – und als Bearbeiter ähnlicher Studien in den Niederlanden für die Evaluierung des Pistensystems des Flughafens Schiphol und Bewerter von neuen Entlastungsmöglichkeiten des Flughafens, hat NLR ein wenig Bedenken, sich auf ein limitiertes Leistungsmodell wie RDSIM zu verlassen, wenn es sich um für die Gesellschaft relevante Schlußfolgerungen handelt. Die Anwendung von RDSIM sollte auf den relativen Gebrauch begrenzt werden (Vergleich von Bahnkonfigurationen) und es sollten nicht absolute Werte betrachtet werden.

Ein anderes, leistungsfähiges Modell wie SIMMOD (wird von der DLR angewendet) oder TAAM (wird von der DFS, NLR angewendet) scheint angemessener zu sein.

Der andere Parameter, welcher durch die FAA variiert wurde, ist der Einsatz des Precision Runway Monitor (PRM) für die Anflüge (und möglicherweise auch Abflüge) auf den sehr nahe beieinander gelegenen Pisten 07/25. Es wird gezeigt, dass die totale Kapazität erhöht wird, wenn PRM eingesetzt wird, wie es erwartet werden kann, weil die Separationen zwischen gleichzeitig landenden Flugzeugen auf diesen Parallelbahnen herabgesetzt werden können. Die operationellen und betrieblichen Bedingungen werden im Bericht nicht weiter behandelt.

#### **5. Nachvollziehbarkeit**

Eine angemessene Bestätigung der unterbreiteten Resultate kann nur durch Kontrollrechnungen mit anderen Mitteln gemacht werden. Innerhalb des zur Verfügung stehenden Zeitrahmens, wurden keine Berechnungen durch die NLR durchgeführt. Solche wurden durch die DLR durchgeführt und werden im technischen Anhang weiter ausgeführt.

#### **6. Plausibilität der Schlußfolgerungen**

Die Schlußfolgerung der FAA, die in ihrem Hauptbericht (Summary and conclusions) dokumentiert sind, werden, basierend auf den durch-

geführten Berechnungen und den gegebenen Bahnkonfigurationen, als korrekt erachtet.

## **7. Vollständigkeit**

Weiter wird festgestellt, daß die FAA die ihnen unterbreiteten Annahmen, die zur Anwendung gelangende Konfigurierung des Modells und das Niveau der verlangten Genauigkeit vollumfänglich berücksichtigt hat.

Der Hauptbericht der FAA behandelt in ihrer Schlussfolgerung die erhaltenen Resultate in umsichtiger Weise: " a more detailed study is necessary to gain insight in issues like taxiway movements, gate capacity, noise and other environmental issues, airspace constraints etc."

Eine Sensitivitätsbetrachtung der zur Anwendung gelangenden wichtigen Parameter wäre hilfreich gewesen, um einen Einblick in die möglichen Schwankungen der Resultate zu erhalten. Dies betrifft speziell:

- ◆ den Flugzeugtypen Mix "Heavy, Medium, Light"
- ◆ Schwankungen in der Anflug/Abflug Nachfrage, beide bezüglich der viertelstündlichen Verteilung und des Abflugortes / Ankunftsortes
- ◆ Variation der Endanflugsgeschwindigkeit (nicht berücksichtigt)
- ◆ Wirbelschleppenabstandswerte (Abflug und Anflug)

## **8. Weitere Bahn-Konfigurationen**

Die untersuchten Bahnkonfigurationen scheinen vollständig zu sein. Die Frage, ob weitere Bahnkonfiguration möglich sind, ist valide, unter Berücksichtigung von weiteren Überlegungen wie Lärmfragen und Drittparteienrisiko.

Ein von der Vereinigung Cockpit vorgeschlagenes System nimmt Bezug auf das Atlanta Hartsfield Konzept: zwei und zwei eng aneinander liegende Parallelpisten.

Unter normalen Operationsbedingungen kann die äussere Bahn als unabhängiges System benützt werden (für Anflüge) und die innere Bahn kann für Abflüge eingesetzt werden. Um fast 900'000 Flugoperationen zu erhalten benützt Atlanta Flugverkehrsprozeduren, die sich drastisch von den europäischen unterscheiden. Das allerwichtigste ist der Gebrauch von Sichtflugprozeduren. Andere sind "Landefreigaben, basierend auf antizipierten Separationen" und spezifische Massnahmen,

welche die Landekapazität erhöhen. Einer der wichtigen Aspekte, der erwähnt werden muss, besteht darin, dass die Flugverkehrsleitung in Atlanta, d.h. die Bezirksleitstelle Atlanta ACC, die oben erwähnten Kapazitäten nur dann erreichen kann, wenn sie einen Verkehrsfluss aufbaut, der bereits bei einer Distanz von ca. 200 nautische Meilen vom Flughafen beginnt.

Variationen der Atlanta Hartsfield Konfiguration könnten für die Situation in Frankfurt möglich sein (dabei sind keine Lärmbetrachtungen oder Drittparteienrisiko berücksichtigt!). Eine Bemerkung zu diesem 4-Bahnsystem: weil keine alternative Gegenwindpiste zur Verfügung steht, wird man stärker von der aktuellen Windrichtung abhängig sein.

Keine weiteren Optionen wurden für valide oder politisch akzeptierbar betrachtet.