

G

Gutachten

G 9.2

Kapazitätsstudie

Erstellt von:

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Institut für Flugführung
38 022 Braunschweig

Projekt 'FRA-Ausbau'

- Kapazitätsgutachten zum ROV -

S. Lorenz, J. Reichmuth

Dok Nr.: IB 112-2001/17

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

September 2001

Zugänglichkeitsstufe: D/II

Version 1.0

DLR-interne Zuordnung:
Kostenträger: 3 374 121

Abteilungsleiter: Dr. rer. nat. J. Reichmuth

Autor/Autoren: Sandro Lorenz, Johannes Reichmuth

Mitwirkung: Franz Knabe, Martin Schiele

Datei-ID: ROV_CAP_DLR_FINAL.DOC

Version 1.0

Erstellungsdatum: 19.09.2001

zuletzt gedruckt: 21.09.2001

Gesamtseitenzahl: 61

Schlüsselworte

- Schnellzeitsimulation
- Bahnkapazität
- SIMMOD
- Ausbau Flughafen Frankfurt
- FAA-Gutachten

Inhalt

Abkürzungen	v
Definitionen	vi
1. Executive Summary	1-1
2. Einführung	2-1
3. Untersuchungsumfang	3-1
4. Eingangsparameter für die Simulation	4-1
4.1 Staffellungen zwischen Bahnoperationen	4-1
4.1.1 Längsstaffellungen Anflug – Anflug.....	4-1
4.1.2 Zeitstaffellungen Anflug – Abflug	4-2
4.1.2.1 Einzelbahnen / abhängige Parallelbahnen.....	4-2
4.1.2.2 Kopplung mit RWY 18	4-3
4.1.3 Zeitstaffelung Abflug – Abflug	4-4
4.1.3.1 Einzelbahnen / abhängige Parallelbahnen.....	4-4
4.1.3.2 Kopplung mit RWY 18	4-5
4.1.4 Blockierdistanzen Abflug – Anflug.....	4-7
4.1.4.1 Einzelbahnen / abhängige Parallelbahnen.....	4-7
4.1.4.2 Kopplung mit RWY 18	4-8
4.1.5 „Intersection Take Off“ von RWY 18.....	4-9
4.1.5.1 Abhängigkeiten zum Parallelbahnsystem beim Start von Startpunkt 18/C	4-10
4.1.5.2 Abhängigkeiten zum Parallelbahnsystem beim Start von Startpunkt 18/S	4-10
4.1.5.3 Zeitstaffellungen zwischen Abflügen	4-11
4.2 Anfluggeschwindigkeiten.....	4-12
4.3 Verkehrsbeispiele.....	4-12
4.3.1 Prognoseflugplan	4-12
4.3.2 Theoretische Verkehrsbeispiele.....	4-16
5. Modellierung durch Simmod Plus!	5-1
6. Ergebnispengewinnung	6-1
6.1 Prognoseflugplan	6-1
6.2 Theoretische Verkehrsbeispiele.....	6-1
7. Ergebnisse	7-1
7.1 Variante Start- und Landebahn Süd mit Startbahn 18 (Variante 3)	7-2
7.2 Variante Landebahn Nordost (Variante 9a).....	7-6
7.3 Vorzugsvariante Landebahn Nordwest (Variante 9b).....	7-9

8.	Ergebniszusammenfassung	8-1
9.	Literaturverzeichnis	9-1
10.	Abbildungsverzeichnis.....	10-1
11.	Tabellenverzeichnis.....	11-1
12.	Anhang A – Staffelungsmatrizen.....	12-1

Abkürzungen

BA	Betriebsanweisung
BAO	Betriebsanordnung
BR	Betriebsrichtung
CAT	Category (Betriebsstufe gem. ICAO Annex 10)
DFS	Deutsche Flugsicherung GmbH
DLH	Deutsche Lufthansa AG
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.
FAA	Federal Aviation Administration
FVK	Flugverkehrskontrolle
H	Gewichtsklasse Heavy (MTOW \geq 136 t)
IMC	Instrumental Meteorological Conditions (Instrumentenwetterbedingungen)
L	Gewichtsklasse Light (MTOW < 7 t)
Lfz	Luftfahrzeug
M	Gewichtsklasse Medium (7 t \leq MTOW < 136 t)
MTOW	Maximum Take Off Weight (maximales Startgewicht)
ROV	Raumordnungsverfahren
RWY	Runway (Bahn)
SIMMOD	The Airspace and Airport Simulation Model
THR	Threshold (Schwelle)
TWY	Taxiway (Rollweg)
UW	Unterschreitungswahrscheinlichkeit
σ	hier: Interarrival Error

Definitionen

Bahnkonfiguration

Zusammenfassung der statischen Elemente des zu modellierenden Flughafens (Anordnung und Betriebsrichtungen der vorhandenen Pisten, Luftraum- und Bodenstruktur, Flugsicherungsregeln, Annahmen über Luftfahrzeuge)

Interarrival Error

Standardabweichung der Zwischenankunftszeiten der Anflüge

Iteration

Bezeichnung für einen Simulationsdurchlauf in SIMMOD

Nutzungskonzept

qualitative Zuordnung von An- und Abflügen zu einer Bahnkonfiguration

Szenario / Variante

Kombination einer Bahnkonfiguration mit einem Verkehrsbeispiel

Verkehrsbeispiel

Zusammenstellung von Flugplänen einzelner Flugereignisse in einem Tagesflugplan

Verkehrsfluss

Anzahl der abgewickelten Bewegungen [Lfz] in einem Zeitintervall (bezogen auf die Schwelle)

Verkehrsnachfrage

Anzahl der geplanten Bewegungen [Lfz] in einem Zeitintervall (bezogen auf die Schwelle)

Verkehrsverteilung

quantitative Umsetzung eines Nutzungskonzeptes (prozentuale Verteilung des Verkehrs auf die Pisten nach Bewegungsart und Gewichtsklasse der Lfz)

Verkehrszusammensetzung

prozentuale Zusammensetzung des Verkehrs nach Gewichtsklassen der Lfz (H,M,L)

1. Executive Summary

Das DLR Institut für Flugführung wurde zur Unterstützung des Raumordnungsverfahrens von der Fraport AG gebeten, für die

- Variante Start- und Landebahn Süd mit Startbahn 18 (Variante 3),
- Variante Landebahn Nordost (Variante 9a) sowie
- Vorzugsvariante Landebahn Nordwest (Variante 9b)

Simulationen unter Bedingungen eines bedarfsgerechten Prognoseflugplans durchzuführen. Die Untersuchung umfasste allein die Start- und Landebahnkapazität, nicht Luftraum- und Rollverkehrsaspekte. Dabei war für jede Variante zu klären, welche mittleren Verspätungen pro Flugbewegung bei Vorgabe der prognostizierten Flugpläne über einen Tag allein durch die Bahnkonfiguration zu erwarten wäre. Eine Übersicht der ermittelten Werte für Anflug-, Abflug und Gesamtverspätung gibt Tabelle 1-1. Die berechneten Abflugverspätungen gelten ausschließlich für die angegebene Verteilung der Abflüge RWY 18 von den entsprechenden Startpunkten 18/N, 18/C und 18/S.

Verkehrsverteilung		Nutzung RWY 18	mittlere Verspätung am Tag		
			[min/mov]		
			Anflug	Abflug	Total
(1)	Anflug: 64% 25L, 36% 25S Abflug: 45% 25R, 24% 25S, 31% 18	100 % ab TWY N	23:45	04:46	14:16
(3)	Anflug: 55% 25L, 45% 25S Abflug: 50% 25R, 5% 25S, 45% 18	100 % ab TWY C	04:48	03:08	03:58
(4)	Anflug: 54% 07L, 46% 07S Abflug: 52% 07R, 31% 07S, 17% 18	100 % ab TWY C	04:50	08:09	06:30
(5)	Anflug: 53% 25N, 47% 25L Abflug: 45% 25R, 55% 18	18 % ab TWY S, 82 % ab TWY N	04:13	01:37	02:55
(6)	Anflug: 49% 07N, 51% 07R Abflug: 43% 07L, 57% 18	18 % ab TWY S, 82 % ab TWY C	04:27	01:46	03:07
(7)	Anflug: 53% 25N, 47% 25L Abflug: 45% 25R, 55% 18	18 % ab TWY S, 82 % ab TWY N	04:13	01:37	02:55
(8)	Anflug: 49% 07N, 51% 07R Abflug: 43% 07L, 57% 18	18 % ab TWY S, 82 % ab TWY C	04:27	01:46	03:07
Variante Start- und Landebahn Süd mit Startbahn 18, BR 25, ursprüngliche Vorgabe ⇒ (1) Variante Start- und Landebahn Süd mit Startbahn 18, BR 25, überarbeitete Vorgabe ⇒ (3) Variante Start- und Landebahn Süd mit Startbahn 18, BR 07, überarbeitete Vorgabe ⇒ (4) Variante Landebahn Nordost, BR 25 ⇒ (5) Variante Landebahn Nordost, BR 07 ⇒ (6) Vorzugsvariante Landebahn Nordwest, BR 25 ⇒ (7) Vorzugsvariante Landebahn Nordwest, BR 07 ⇒ (8)					

Tabelle 1-1: Übersicht Verspätungen aus Simulationen des Prognoseflugplans mit variantenspezifischen Verkehrsverteilungen

Des Weiteren wurden auf der Basis des Prognoseflugplans zugehörige theoretische Verkehrsbeispiele erzeugt. Aus diesen konnten stündliche praktische Kapazitätskennzahlen mit einem mittleren Verspätungsniveau von 4 Minuten bestimmt werden. Tabelle 1-2 enthält die entsprechenden praktischen Kapazitätswerte. Die berechneten praktischen Abflugkapazitätswerte gelten ausschließlich für die angegebene Verteilung der Abflüge RWY 18 von den entsprechenden Startpunkten 18/N, 18/C und 18/S.

	Variante	praktische Bahnkapazität [mov/h]							
		Betriebsrichtung 07				Betriebsrichtung 25			
		Basis	Anflug	Abflug	Total	Basis	Anflug	Abflug	Total
(a)	Nordost	(6)	60	79	125	(5)	61	79	131
(b)	Nordwest	(8)	60	79	125	(7)	61	79	131
(c)	Süd	(2)	51	50	101	(1)	51	71	103
(d)	Süd	(4)	58	54	111	(3)	58	66	120

Basis: Nummer der entsprechenden Verkehrsverteilung auf deren Grundlage Verkehrsbeispiele erzeugt wurden

Nutzung RWY 18:
 (a): BR 07: 18 % ab TWY S, 82 % ab TWY C; BR 25: 18 % ab TWY S, 82 % ab TWY N
 (b): BR 07: 18 % ab TWY S, 82 % ab TWY C; BR 25: 18 % ab TWY S, 82 % ab TWY N
 (c): 18 % ab TWY S, 82 % ab TWY C
 (d): 100 % ab TWY C

Tabelle 1-2: Übersicht praktische Kapazität aus Simulationen mit theoretischen Verkehrsbeispielen

Zusammenfassend lassen sich folgende Kernaussagen ableiten:

- Vorzugsvariante Landebahn Nordwest und Variante Landebahn Nordost weisen bei gleicher Verkehrsverteilung bezüglich mittlerer Verspätung und Bahnkapazität identische Werte auf.
- Sowohl die mittleren Gesamt- als auch An- und Abflugverspätungswerte des Prognoseflugplans liegen bei Vorzugsvariante Landebahn Nordwest und Variante Landebahn Nordost in beiden Betriebsrichtungen in einem akzeptablen Bereich.
- Sowohl Vorzugsvariante Landebahn Nordwest als auch Variante Landebahn Nordost erreichen in beiden Betriebsrichtungen eine praktische Gesamtkapazität von mehr als 120 Bewegungen pro Stunde.
- In Variante Start- und Landebahn Süd mit Startbahn 18 erreicht eine ursprünglich verwendete Verkehrsverteilung eine inakzeptable mittlere Anflugverspätung. Die Simulation mit den zugehörigen theoretischen Verkehrsbeispielen verfehlt den Zielwert von 120 Bewegungen pro Stunde deutlich.
- Eine überarbeitete Verkehrsverteilung zu Variante Start- und Landebahn Süd mit Startbahn 18 erreicht in Betriebsrichtung 25 für Anflug, Abflug und Gesamtbewegungen akzeptable Verspätungswerte. Die für Betriebsrichtung 07 ermittelte Gesamtverspätung ist auf die deutlich erhöhte Abflugverspätung zurückzuführen.

- Die Simulation zu Variante Start- und Landebahn Süd mit Startbahn 18 mit den zugehörigen theoretischen Verkehrsbeispielen erreicht in Betriebsrichtung 25 den Zielwert von 120 Bewegungen pro Stunde. In Betriebsrichtung 07 wird der Zielwert von 120 Bewegungen pro Stunde, trotz der deutlichen Verbesserung gegenüber den ursprünglichen theoretischen Verkehrsbeispielen, nicht erreicht.

Allein die Varianten Landebahn Nordwest und Landebahn Nordost gewährleisten somit bei den hier vorgegebenen Verkehrsverteilungen des Prognoseflugplans die Erreichung des Kapazitätsziels in beiden Betriebsrichtungen.

2. Einführung

Am Flughafen Frankfurt/Main steigt die Verkehrsnachfrage Jahr für Jahr. So waren im Jahr 2000 bereits 458.731 Flugbewegungen zu verzeichnen. Die Nachfrage in den Spitzenstunden überschreitet heute bereits die Kapazität des vorhandenen Bahnsystems. Für die Aufnahme des prognostizierten Verkehrs sind am Flughafen Frankfurt jedoch keine ausreichenden Kapazitäten vorhanden, sodass eine Abwanderung zu konkurrierenden Flughäfen, welche zu den nachfragerechten Zeiten ausreichende Kapazitäten zur Verfügung stellen können, die Folge wäre.

Für das Jahr 2015 strebt die Fraport AG an, mindestens 120 Flugbewegungen pro Stunde verlässlich anbieten zu können. Dies würde dem Flughafen ermöglichen, die für 2015 prognostizierten ca. 656.000 Flugbewegungen pro Jahr bedarfsorientiert zu bewältigen. Da mit dem vorhandenen Bahnsystem diese Bewegungszahlen nicht realisierbar sind, ist ein Ausbau des Flughafens erforderlich. In diesem Zusammenhang wurde im Sommer 1998 das „Mediationsverfahren“ ins Leben gerufen, in dessen Umfeld die FAA im Sommer 1999 die Studie „An investigation of the present and potential future capacity of Frankfurt am Main International Airport“ erstellte. Darin wurden verschiedene Bahnkonfigurationen hinsichtlich ihrer Bahnkapazität miteinander verglichen. Als ein Ergebnis ergab sich daraus eine Rangfolge verschiedener Ausbauvarianten unter Berücksichtigung eines Zielwertes von 120 Bewegungen pro Stunde bei einer mittleren Verspätung von 4 Minuten pro Flugbewegung. Dieser Zielwert für die praktische stündliche Kapazität wurde dabei ausschließlich von Varianten mit vier Bahnen erreicht.

Für drei dieser Varianten wurde das DLR Institut für Flugführung zur Unterstützung des Raumordnungsverfahrens von der Fraport AG gebeten, über die FAA Studie hinausgehende Simulationen unter den einschränkenden Bedingungen eines bedarfsgerechten Prognoseflugplans durchzuführen. Die Untersuchung umfasste allein die Start/Landebahnkapazität, nicht Luftraum- und Rollverkehrsaspekte. Dabei war für jede Variante zu klären, welche mittleren Verspätungen pro Flugbewegung bei Vorgabe der prognostizierten Flugpläne über einen Tag allein durch die Bahnkonfiguration zu erwarten wäre. Des weiteren sollte auf der Basis der gemittelten Eigenschaften des Prognoseflugplans die zugehörige stündliche praktische Kapazitätskennzahl mit einem mittleren Verspätungsniveau von 4 Minuten pro Flugbewegung bestimmt werden.

3. Untersuchungsumfang

Die vorgenommenen Untersuchungen beziehen auf folgende *Bahnkonfigurationen* für die Betriebsrichtungen 07 und 25:

Variante Start- und Landebahn Süd mit Startbahn 18

heutiger Flughafen mit Startbahn 18 und mit einer zusätzlichen Südbahn (25S/07S) in einer Entfernung von 1925 m (6316 ft) von der Bahn 25L/07R des bestehenden Parallelbahnsystems

Variante Landebahn Nordost

heutiger Flughafen mit einer zusätzlichen nordöstlichen Landebahn (25N/07N) in einer Entfernung von 1800 m (5906 ft) von der Bahn 25R/07L des bestehenden Parallelbahnsystems

Vorzugsvariante Landebahn Nordwest

heutiger Flughafen mit einer zusätzlichen nordwestlichen Landebahn (25N/07N) in einer Entfernung von 1400 m (4594 ft) von der Bahn 25R/07L des bestehenden Parallelbahnsystems

Die für jede Variante unterschiedliche Struktur des umgebenen Luftraums, sowie das Rollbahnsystems werden nur an den Schnittstellen zum Bahnsystem als Verkehrsquelle bzw. –senke berücksichtigt.

Die *Nutzungskonzepte* für die Varianten werden durch den von Fraport zur Verfügung gestellten Prognoseflugplan mit seinen variantenspezifischen Verkehrsverteilungen vorgegeben:

Variante Start- und Landebahn Süd mit Startbahn 18

Es erfolgt eine Verkehrsverteilung so, dass Anflüge in BR 25 die Bahnen 25L sowie 25S benutzen, wobei Abflüge auf die Bahnen 25R, 25S und 18 verteilt werden.

In BR 07 stehen für Anflüge die Bahnen 07L und 07S zur Verfügung; Abflüge nutzen die Bahnen 07R, 07S und 18.

Variante Landebahn Nordost

Es erfolgt eine Verkehrsverteilung so, dass Anflüge die Bahnen 25L/07R sowie 25N/07N benutzen. Für Abflüge werden die Bahnen 25R/07L und 18 genutzt.

Vorzugsvariante Landebahn Nordwest

Es erfolgt eine Verkehrsverteilung so, dass Anflüge die Bahnen 25L/07R sowie 25N/07N benutzen. Für Abflüge werden die Bahnen 25R/07L und 18 genutzt.

Schnellzeitsimulationen des verkehrlichen Ablaufs werden mittels *Simmod PLUS!* unter der Annahme von Instrumentenflugbedingungen IMC CAT I durchgeführt. In der Verkehrszusammensetzung wird nach den Wirbelschleppenkategorien Heavy, Medium und Light unterschieden.

Die den Simulationen zu Grunde liegenden zeitlichen Vorgaben für startenden und landenden Verkehr werden durch zwei Arten von *Verkehrsbeispielen* eines Tages erhalten:

Zur Bestimmung der mittleren Verspätung wird der von der Fraport AG vorgegebene *Prognoseflugplan* mit variablem An-/Abflug-Verhältnis verwendet. Zur Bestimmung einer Kennzahl der praktischen 4-Minuten Bahnkapazität werden aus den Vorgaben des Prognoseflugplans *theoretische Verkehrsbeispiele* mit Verkehrsverteilung und Verkehrszusammensetzung der jeweiligen Variante bei stündlich konstantem An-/Abflugverhältnis von 1:1 verwendet.

Die individuelle Verspätung jeder Flugbewegung ergibt sich aus der Differenz zwischen den in den Verkehrsbeispielen enthaltenen Start- und Landezeiten und den tatsächlich eingetretenen Ereigniszeiten. Aus den individuellen Verspätungen werden dann durch Summation und Mittelwertbildung die mittleren täglichen Verspätungen pro Flugbewegung ermittelt.

Anmerkung:

In Anlehnung an die FAA-Studie aus dem Jahre 1999 werden die Varianten im weiteren Verlauf der Ausführungen vereinfacht wie folgt bezeichnet:

- Variante Start- und Landebahn Süd mit Startbahn 18 ⇒ Variante **3**
- Variante Landebahn Nordost ⇒ Variante **9a**
- Vorzugsvariante Landebahn Nordwest ⇒ Variante **9b**

4. Eingangsparameter für die Simulation

In den folgenden Abschnitten werden die in den Simulationen verwendeten Staffellungen zwischen Bahnoperationen, Anfluggeschwindigkeiten sowie die verwendeten Verkehrsbeispiele generell beschrieben.

4.1 Staffellungen zwischen Bahnoperationen

Die in Tabelle 12-1 bis Tabelle 12-4 zusammengestellten Staffellungswerte werden in den folgenden Abschnitten anhand einschlägiger Vorschriften und Richtlinien (BA FVK, BAO FVK) der DFS in den nächsten Abschnitten einer Plausibilitätsprüfung unterzogen.

Im Rahmen dieser Untersuchung werden Landebahn Nordwest und Landebahn Nordost als unabhängig von den Bahnen 25R/07L, 25L/07R sowie 18 angesehen.

4.1.1 Längsstaffellungen Anflug – Anflug

Die in der FAA-Studie angegebenen Endanflugsstaffelungen¹ gelten für Einzelbahnen und abhängige Parallelbahnen und stellen räumliche Mindestwerte für den Abstand im Endanflug befindlicher Lfz dar. Unter bestimmten CAT I Betriebsbedingungen² können nicht wirbelschleppenkritische Paarungen mit 2.5 NM gestaffelt werden. Diese Bedingungen werden im Rahmen dieser Studie als erfüllt angesehen.

Für wirbelschleppenkritische Paarungen gelten aufgrund der möglichen Gefährdungen die räumlichen Wirbelschleppenstaffelungen von 4, 5 und 6 NM³.

In den Simulationen werden die Mindeststaffellungswerte mit einem zusätzlichen Sicherheitspuffer verwendet, um zu gewährleisten, dass Staffellungsunterschreitungen auf ein bestimmtes Maß reduziert werden (siehe Abbildung 4-1).

In der Literatur findet sich für die Bestimmung der Puffergröße folgender Ansatz:⁴

$$T_B = 1.645 \cdot \sigma \quad (\text{Gleichung 4-1})$$

mit:

T_B = Puffergröße in [s]

σ = Interarrival Error in [s]

¹ Holladay, R. J., FAA_2, S. 14, Table 14.

² DFS, BA FVK, A 4.2-101.

³ DFS, BA FVK, S. 43 – 6, Abs. 435.1.

⁴ Credeur, L., Capron, W. R., Timer, S. 11, Abs. 5.3.1.

Anhand von Gleichung 4-1 lässt sich ein Puffer berechnen, der sicherstellt, dass Anflüge mit einer Unterschreitungswahrscheinlichkeit (UW) von maximal 5 % unterstaffelt werden. Der dazu nötige Parameter σ , der die Ablieferungsgenauigkeit widerspiegelt, hängt von verschiedenen Faktoren, u.a. dem Automatisierungsgrad der Anflugüberwachung, ab. Für ein heutiges Anflugkontrollsystem werden z.B. Größenordnungen für σ von ca. 15 s bis 19 s angegeben.⁵ Im Rahmen dieser Studie wird der Interarrival Error mit 15 s angenommen.

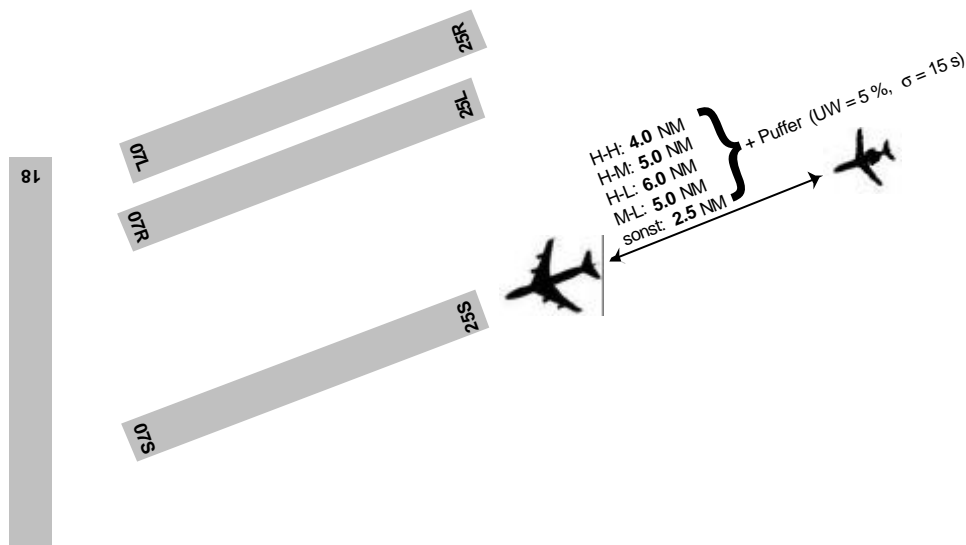


Abbildung 4-1: Längsstaffelung im Endanflug

4.1.2 Zeitstaffelungen Anflug – Abflug

Eine Anflug-Abflug-Staffelung wird durch die Zeit charakterisiert, die zwischen dem Aufsetzen eines anfliegenden Lfz und dem Beginn des Startlaufes des nachfolgenden Abfluges vergeht.

4.1.2.1 Einzelbahnen / abhängige Parallelbahnen

Auf Einzelbahnen ist diese Zeitstaffelung durch die Landebahnbelegungszeit des vorausfliegenden Lfz bestimmt, da nach dem Verlassen der Bahn der nächstfolgende Abflug den Startlauf beginnen darf.⁶ Diese Zeiten liegen – abhängig von der Lage der Exits an der jeweiligen Landebahn und der Gewichtsklasse des landenden Lfz – in einem Bereich von 40 s (Klasse M auf RWY 25S) bis 65 s (Klasse H auf RWY 07L).⁷

An dieser Stelle sei darauf verwiesen, dass die Bahnbelegungszeiten für neue Bahnen, wie z.B. RWY 25S, auf nach Nutzungswahrscheinlichkeit gewichteten Werten der FAA-Studie (Table 10) beruhen, da eine endgültige Planung der Lage der Abrollwege zum Zeitpunkt der Erstellung der Staffelmatrixen noch nicht vorlag.⁸

⁵ Lee, D. A., Kostiuk, P. F., Hemm, R. V., Wingrove III, Earl R., Shapiro, G., Terminal, S. 5-10, Table 5-6.

⁶ DFS, BA FVK, S. 32 – 2, Abs. 322.12.

⁷ Westenburger, F., Staffelungen, S. 1 f.

⁸ Westenburger, F., Staffelungen_1, S. 1.

Für benachbarte Parallelbahnen ist durch den Lotsen sicherzustellen, dass ein anfliegender Lfz aufsetzt bevor der nachfolgende Startlauf auf der benachbarten Bahn die Freigabe erhält. Der in der FAA-Studie angegebene Wert von 10 Sekunden⁹ für diese visuelle Überprüfung erscheint plausibel.

4.1.2.2 Kopplung mit RWY 18

Eine Kopplung mit RWY 18 tritt auf, wenn Anflüge in BR 07 bzw. Fehlanflüge in BR 25 auf die parallelen Bahnen den auf 18 startenden Verkehr kreuzen und dadurch u.U. gefährden können (Wirbelschleppen). Aus diesen Gründen sind für die Kombinationen der Bahnen 25L (07R) bzw. 25S (07S) mit 18 zeitliche Mindestabstände zwischen den Operationen vorzusehen. Für die Paarung 25R (07L) – 18 gibt es aufgrund der Lage der Bahnen zueinander keine Staffelung.

In BR 07 ist bei dieser Staffelung die Gefährdung durch Wirbelschleppen zu beachten. Die für wirbelschleppenkritische Paarungen beim Anflug auf 07R und 07S verwendeten Staffelungswerte beruhen auf der BAO FVK 28/96.

„... bei Konstellationen, bei denen die Anwendung von Radarstaffelung nicht möglich ist (z.B. Landung 07R/Start18), sind anstelle der vorgeschriebenen Entfernungswerte folgende zeitliche Mindestabstände einzuhalten:

4 NM = 2 min.

5 NM = 2.5 min.

6 NM = 3 min.“¹⁰

Um diese Werte nicht zu unterschreiten, wird die Staffelung so berechnet, dass von dem zeitlichen Mindestabstand die Zeit abgezogen wird, die ein Lfz vom Startlaufpunkt auf RWY 18 bis zu dem entsprechenden Kreuzungspunkt benötigt zuzüglich der Zeit, die ein auf das Parallelbahnsystem anfliegender Lfz für die Strecke zwischen Kreuzungspunkt und Landebahnschwelle benötigt. Für die Zeit zwischen Kreuzungspunkt und Landebahnschwelle wurde in der Simulation ein Wert von 10 Sekunden (ca. 600m [0.3 NM] bei einer mittleren Anfluggeschwindigkeit von 130 bis 145 kt = 8 bis 9 s aufgerundet auf 10 s) angenommen. Am Beispiel der Paarung Anflug H auf RWY 07S vor Abflug M von RWY 18 wird die Berechnung der Staffelungen nachvollzogen.

- Wirbelschleppenstaffelung: 150 s
- Zeit bis zum Kreuzungspunkt für Startlauf auf RWY 18: 60 s (siehe Tabelle 4-1 / S. 4-6)
- Zeit vom Überflug RWY 18 bis Schwelle 07S: 10 s
- Staffelung: $150 - 60 + 10 = 100 \text{ s}$ ¹¹

⁹ Holladay, R. J., FAA_2, S. 16, Table 20.

¹⁰ DFS, BAO FVK 28/96, S. 8, Abs. 4.5.2.

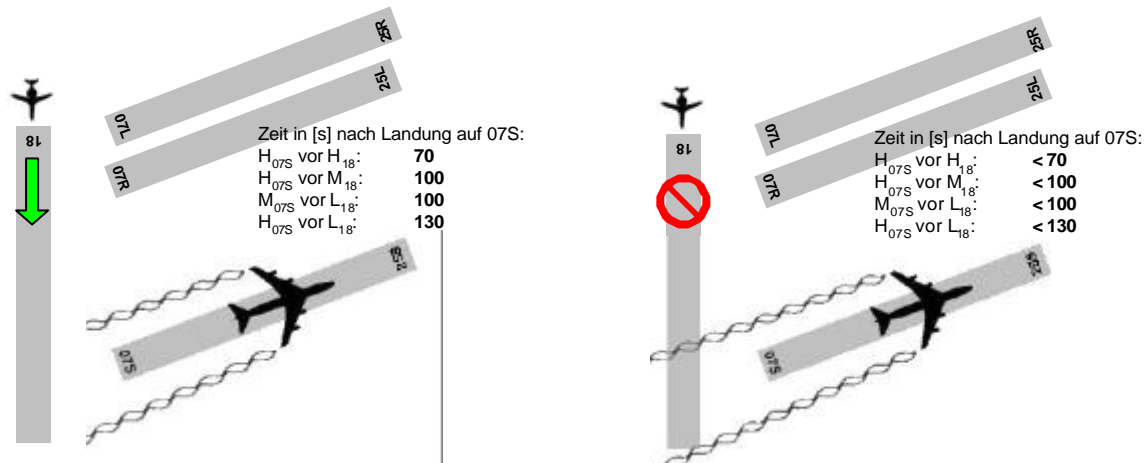


Abbildung 4-2: Zeitstaffelung Anflug RWY 07S vor Abflug RWY 18

Die Staffelungswerte für die wirbelschleppenkritischen Paarungen eines Anfluges auf RWY 07S vor einem Abflug von RWY 18 sind Abbildung 4-2 zu entnehmen. Zur Berechnung der Staffelungen beim Anflug auf RWY 07R gilt ebenfalls vorab beschriebenes Verfahren. Hier ergeben sich jedoch um 30 s höhere Einzelwerte, da die Zeit, die der Abflug von RWY 18 bis zum Passieren des Kreuzungspunktes mit RWY 07R benötigt, um diese 30 s geringer ist.

Für nicht wirbelschleppenkritische Paarungen muss gesichert sein, dass das vorausfliegende Lfz die Landebahnschwelle bereits überflogen hat bzw. sich genau darüber befindet, bevor ein Abflug von RWY 18 die Startfreigabe erhält (* in den entsprechenden Feldern in Tabelle 12-2).

In BR 25 ist analog zur Staffelung auf abhängigen Parallelbahnen zu sichern, dass der Anflug auf 25L/S aufgesetzt hat, bevor der nachfolgende Startlauf auf RWY 18 beginnt. Auch hier werden die bereits erwähnten 10 s als Staffelung angenommen.¹²

4.1.3 Zeitstaffelung Abflug – Abflug

4.1.3.1 Einzelbahnen / abhängige Parallelbahnen

Durch diese Staffelung wird sichergestellt, dass nacheinander von einer Bahn oder abhängigen Parallelbahnen abfliegende Lfz nach dem Abheben Radar- bzw. Wirbelschleppenstaffelung einhalten.¹³ Die Festlegung der Staffelung für Kombinationen Abflug H vor Abflug H verdeutlicht folgende Beispielrechnung:

- Staffelung: **75 s**
- Wirbelschleppenstaffelung: 4 NM
- zurückgelegte Strecke des vorausfliegenden Lfz in 75 s: ca. 2.8 NM (Annahme der Beschleunigung: siehe nächster Abschnitt)

¹¹ Westenburger, F., Lorenz, S., Staffelungen_2.

¹² Westenburger, F., Staffelungen, S. 1 f.

¹³ DFS, BA FVK, S. 43 – 3, Abs. 433.1.

- Startlaufzeit des nachfolgenden Lfz: 40 s
- Zeit, da beide Lfz in der Luft: 75 + 40 = 115 s
- zurückgelegte Strecke des vorausfliegenden Lfz in 115 s: 2.8 + 1.5 = 4.3 NM > 4 NM
 (Annahme: Weiterflug mit konstanter Geschwindigkeit, gleiche Endgeschwindigkeit von vorausfliegendem und nachfolgendem Lfz)

Für alle weiteren Paarungen von zwei aufeinanderfolgenden Abflügen von Einzelbahnen oder abhängigen Parallelbahnen gilt das gleiche Näherungsverfahren. Die Werte sind Abbildung 4-3 zu entnehmen.¹⁴

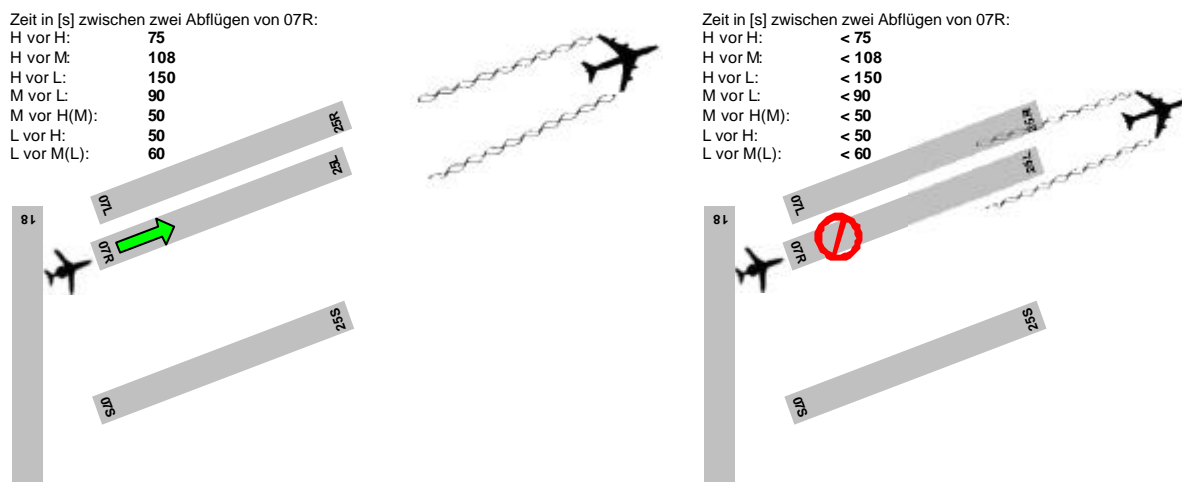


Abbildung 4-3: Zeitstaffelung zweier Abflüge am Beispiel von RWY 07R

4.1.3.2 Kopplung mit RWY 18

Bei dieser Staffelung sind zwei Sachverhalte zu beachten. *Einerseits* darf kein Startlauf auf RWY 18 bzw. RWY 25L/S beginnen, bevor das vorher gestartete Lfz den Kreuzungspunkt überflogen hat¹⁵, *andererseits* gelten auch hier an Stelle der räumlichen Staffelungen die unter Absatz 4.1.2.2 bereits beschriebenen zeitlichen Mindestwerte.

Nach Angaben der DFS benötigt ein startendes Lfz auf RWY 18 vom Beginn des Startlaufes ca. 30 Sekunden bis zum Passieren der verlängerten Bahnachse 25L und ca. 60 Sekunden bis zum Passieren der verlängerten Bahnachse 25S.

In der folgenden Tabelle 4-1 sind die Zeiten für den Startlauf auf RWY 18 (bzw. 25L/S) bis zu den jeweiligen Kreuzungspunkten mit RWY 25L/S (bzw. 18) und deren ungefähre Entfernung in Metern vom jeweiligen Startpunkt angegeben. Zur Berechnung wurde eine mittlere Beschleunigung von 2 m/s²¹⁶ unterstellt.

¹⁴ Westenburger, F., Staffelungen, S. 1 f.

¹⁵ DFS, BAO FVK 28/96, S. 7, Abs. 4.1.1.

¹⁶ in Anlehnung an Beispielrechnungen in: Schesky, E., Flugleistungen, Abschnitt 2 „Start und Startabbruch“.

Start von ...	Kreuzung mit Bahnachse...	Beginn des Startlaufes/Kreuzung [m]	Erreichen der Kreuzung nach ... [s]	
			DLR-Berechnung	DFS
18/N	25L	890	30	30
18/N	25S	2690	51	60
18/C	25L	370	19 (20)*	k. A.
18/C	25S	2170	47 (50)*	k. A.
18/S	25S	1650	41 (45)	k. A.
25L/D	18	4560	68	70
THR 25S	18	3923	63	70

* aufgerundete Werte in ()

Tabelle 4-1: Zeit zwischen Beginn des Startlaufes und Passieren der verlängerten Bahnachse der jeweils kreuzenden Bahn

Die Angaben der DFS zu den Zeiten für das Passieren der jeweiligen Kreuzungspunkte ließen sich mit Hilfe der Berechnungen nachvollziehen und wurden somit in den Simulationen verwendet (Staffelungen 18/25L, 18/25S sowie 25L/18 in Spalte 5 von Tabelle 4-1¹⁷).

Für die Staffelungen RWY 25S zu RWY 18 gelten – abhängig von der Gewichtsklasse der Lfz - zeitliche Mindestabstände von 20 s bis 190 s, da am Kreuzungspunkt bereits damit gerechnet werden muss, dass der Abflug von RWY 18 abgehoben hat und Radarstaffelung nicht anwendbar ist. Die Werte lassen sich exemplarisch wie folgt herleiten (Abflug H von RWY 25S vor Abflug H von RWY 18):

- Wirbelschleppenstaffelung am Kreuzungspunkt: 120 s
- Zeit bis zum Überfliegen des Kreuzungspunktes (Start 25S): 70 s
- Zeit bis zum Überfliegen des Kreuzungspunktes (Start 18): 60 s
- Staffelung = 120 + 70 – 60 = **130 s**
- weitere Paarungen: H-M = 160 s, H-L = 190 s, M-L = 160 s

Für nicht wirbelschleppenkritische Paarungen gilt die Regel, dass auf Bahn 18 kein Startlaufbeginn erfolgen darf, bevor das kreuzende Lfz (hier der Abflug von RWY 25S) den Kreuzungspunkt passiert hat.¹⁸ Es gilt daher ein Mindestabstand von **70 s** (siehe Tabelle 4-1).

¹⁷ Westenburger, F., Staffelungen, S. 1 f.

¹⁸ DFS, BAO FVK 28/96, S. 7, Abs. 4.1.1.

4.1.4 Blockierdistanzen Abflug – Anflug

Bei dieser Staffelung ist die Entfernung festgelegt, die ein anfliegendes Lfz von der Landebahnschwelle entfernt sein muss, damit der Abflug den Startlauf noch beginnen darf.

4.1.4.1 Einzelbahnen / abhängige Parallelbahnen

Die in der FAA-Studie angegebenen Werte¹⁹ zwischen 2 NM und 3 NM (je nach Gewichtsklassenkombination) orientieren sich an der in der BA FVK festgelegten Staffelung für Lfz, die die gleiche Bahn benutzen. Unter bestimmten CAT I Bedingungen kann „herabgesetzte Staffelung“ angewendet werden, d.h. das nachfolgende Lfz darf die Schwelle überfliegen, wenn der vorherige Abflug einen Punkt in 2400m Entfernung von der Schwelle überflogen hat.²⁰ Für eine Paarung Abflug H vor einem Anflug H auf einer Bahn bedeutet dies zum Beispiel:

- Staffelung (bezogen auf Schwelle 25S): **3 NM**
- Anfluggeschwindigkeit: 145 kt
- Schwellenüberflug der Landung: 75s (nach Überflug des 3 NM Punktes)

Nach diesen 75 s würde der davor geplante Start auf RWY 25S bereits RWY 18 überflogen haben (vgl. Tabelle 4-1) - d.h., sich mindestens 4000 m von der Schwelle entfernt befinden. Die geforderten 2400 m sind demzufolge mit einem Sicherheitspuffer eingehalten. Analog lassen sich die Staffelungen der anderen Paarungen bestimmen (Werte: siehe Abbildung 4-4)

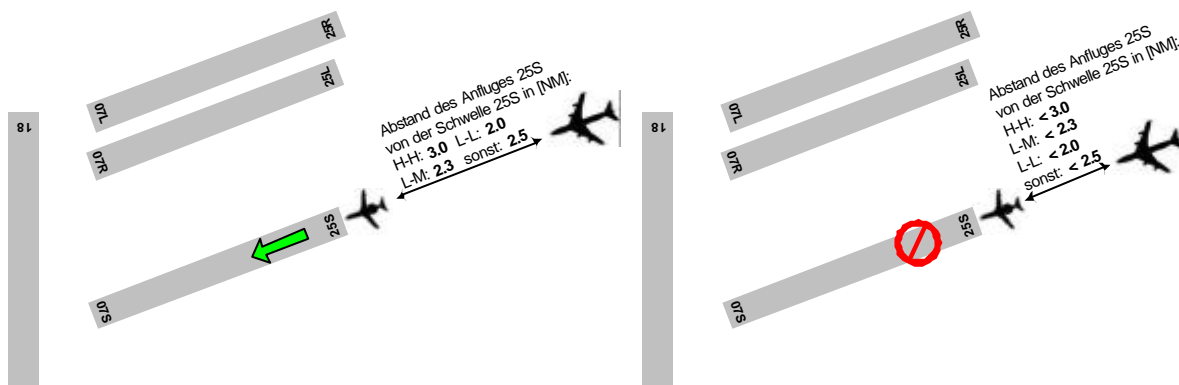


Abbildung 4-4: Blockierdistanzen Abflug RWY 25S / Anflug RWY 25S

¹⁹ Holladay, R. J., FAA_2 ,S. 14, Table 15.

²⁰ DFS, BA FVK, S. 32 – 2, Abs. 322.3.

4.1.4.2 Kopplung mit RWY 18

Abflug RWY 18 – Anflug RWY 07L

Die Staffelung von 1.5 NM²¹ (bezogen auf Schwelle 07L) entspricht der täglichen Praxis am Flughafen und soll sicherstellen, dass startender Verkehr nicht überflogen wird.²² Bei einer Anfluggeschwindigkeit von 130 bis 145 kt benötigt ein landendes Lfz für diese Strecke zwischen 37 und 41 s. Abzüglich der 10 s vom Überflugpunkt RWY 18 bis zur Schwelle 07L ergeben sich 27 bis 31 s. In dieser Zeit hat ein Start auf RWY 18 bereits den nächsten Kreuzungspunkt mit RWY 07R erreicht bzw. passiert (siehe Tabelle 4-1), womit gesichert ist, dass ein startendes Lfz nicht von einem Anflug 07L überflogen wird.

Abflug RWY 18 – Anflug RWY 07R/07S

Da ein startendes Lfz beim Passieren des entsprechenden Kreuzungspunktes bereits rotiert bzw. fliegt und eine Wirbelschleppengefahr aufgrund der Lage der Flugwege ausgeschlossen werden kann, gilt am Kreuzungspunkt ein Radarstaffelungsmindestwert von 3 NM.²³ Für einen Abflug von RWY 18 vor einem Anflug auf RWY 07S ergibt sich nachfolgende Rechnung (Veranschaulichung: siehe Abbildung 4-5).

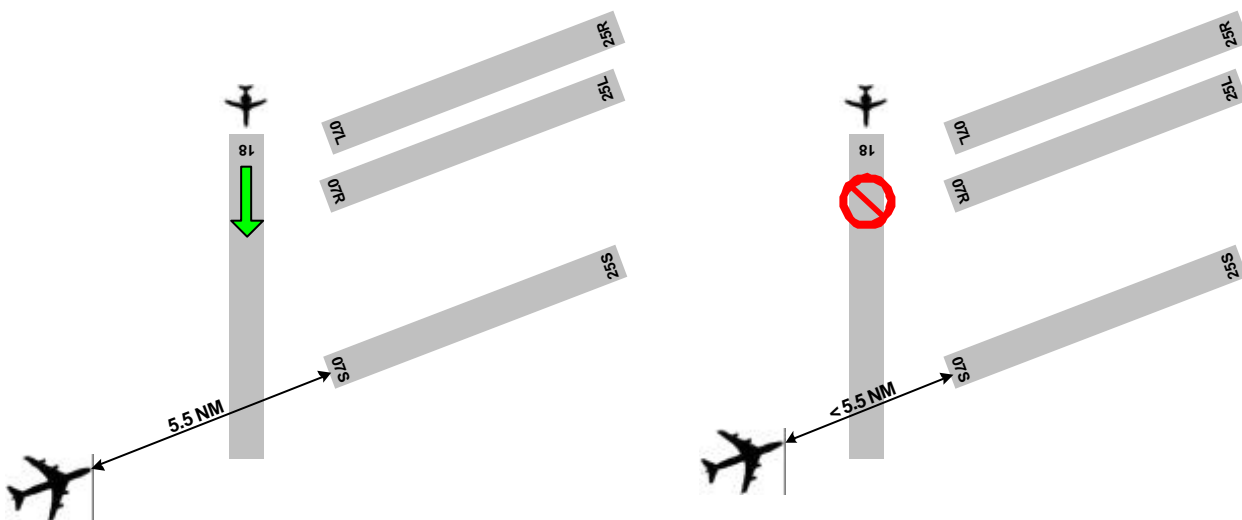


Abbildung 4-5: Blockierdistanzen Abflug / Anflug - Anflug 07S vor Abflug 18

- Staffelung (bezogen auf Schwelle 07S): **5.5 NM**
- Startlauf auf RWY 18 bis zum Kreuzungspunkt mit verlängerter Achse RWY 07S: 60 s
- Abstand (Kreuzung RWY 18 mit verlängerter Achse 07S zu Schwelle 07S): 0.3 NM
- zurückgelegte Entfernung des Anfluges in 60 s (mit 130 – 145 kt): 2.2 bis 2.5 NM

²¹ Westenburger, F., Staffelungen, S. 1 f.

²² DFS, BAO FVK 28/96, S. 7, Abs. 4.1.3.

²³ DFS, BA FVK, S. 43 – 5, Abs. 434.22.

- Entfernung (wenn Abflug von RWY 18 Kreuzungspunkt mit verlängerter Bahnachse 07S erreicht): $5.5 - 2.2 (2.5) - 0.3 = 3.0 (2.7) \text{ NM}$

Die so ermittelten Werte im Bereich von 2.7 bis 3.0 NM können als Einhaltung des geforderten Radarstaffelungsmindestwertes von 3 NM angesehen werden, da die 60 s für den Startlauf auf RWY 18 bis zum Kreuzungspunkt mit der verlängerten Achse von RWY 07S einen Maximalwert inkl. einer Sicherheit darstellen.

Für Anflüge auf RWY 07R gilt das Verfahren analog. Hier wird ein Wert von 4 NM^{24} angegeben, der sich ebenfalls durch vorab dargestelltes Rechenverfahren bestätigen lässt.

Abflug RWY 18 – Anflug RWY 25L/S

In diesem Fall muss gewährleistet sein, dass ein auf RWY 18 startendes Lfz die Kreuzung der verlängerten Bahnachse 25L/25S mit RWY 18 passiert hat, bevor ein Anflug auf RWY 25L/25S die Schwelle überfliegt, wenn bei bestimmten Wetterlagen mit Fehlanflügen zu rechnen ist.²⁵ Unter der Annahme einer mittleren Anfluggeschwindigkeit nach Gewichtsklasse der Lfz von 130 bis 145 kt und den Zeiten aus Tabelle 4-1 erscheinen die festgelegten Werte von 1 NM (RWY 25L) und 3 NM (RWY 25S)²⁶ sicher und akzeptabel. Dies belegt folgende Beispielrechnung:

- Staffelung (bezogen auf Schwelle 25S): **3 NM**
- Zeit bis zum Erreichen des Kreuzungspunktes für Abflug von RWY 18: 60 s
- zurückgelegte Entfernung des Anfluges in 60 s (bei 130 bis 145 kt): 2.2 bis 2.5 NM
- Entfernung des Anfluges von Schwelle 25S (wenn Abflug RWY 18 den Kreuzungspunkt erreicht): $3 - 2.2 (2.5) = 0.8 (0.5) \text{ NM}$

Es zeigt sich, dass ein Anflug die Schwelle von RWY 25S noch nicht erreicht hat, wenn der Abflug von RWY 18 den Kreuzungspunkt mit der verlängerten Bahnachse 25S bereits passiert. Eingangs gestellte Anforderung wird damit erfüllt.

4.1.5 „Intersection Take Off“ von RWY 18

Bei Anwendung dieses Verfahrens sind mehrere Betriebszustände möglich, die durch den jeweilig benutzten Startpunkt auf RWY 18 bestimmt werden:

- 18/N \Rightarrow Startbahnkopf 18 ab Rollweg N
- 18/C \Rightarrow Einmündung Rollweg C
- 18/S \Rightarrow Einmündung Rollweg S

²⁴ Westenburger, F., Staffelungen, S. 1 f.

²⁵ DFS, BAO FVK 28/96, S. 7, Abs. 4.2.

²⁶ Westenburger, F., Staffelungen, S. 1 f.

4.1.5.1 Abhängigkeiten zum Parallelbahnsystem beim Start von Startpunkt 18/C

Beginnt ein Startlauf auf RWY 18 an der Einmündung der Rollbahn C, verringern sich die Zeiten bis zum Erreichen der Kreuzungspunkte mit den verlängerten Bahnachsen RWY 25L oder 25S auf 20 bzw. 50 s (vgl. Tabelle 4-1). Es ergeben sich folgende Staffelungswerte:

- Staffellungen zwischen Startlaufbeginn 18/C und den Operationen auf den Bahnen 25L sowie 25R/07L entfallen aufgrund der Lage der Bahnen zueinander
- Anflug 25S zu Abflug 18/C = 10 s (alle Paarungen) [wie 4.1.2.2]
- Abflug 18/C zu Anflug 25S = 2.5 NM (alle Paarungen) [wie 4.1.4.2]
- Abflug 18/C zu Abflug 25S = 50 s (alle Paarungen) [wie 4.1.3.2]
- Abflug 25S zu Abflug 18/C: H-H = 140 s, H-M (M-L) = 170 s, H-L = 200 s, alle anderen Paarungen = 70 s [wie 4.1.3.2]
- Abflug 18/C zu Anflug 07R(07S) = 1.5 (5) NM (alle Paarungen) [wie 4.1.4.2]
- Anflug 07R zu Abflug 18/C = * (alle Paarungen), Überflug Schwelle 07R muss erfolgt sein [wie 4.1.2.2]
- Anflug 07S zu Abflug 18/C: H-H = 80 s, H-M (M-L) = 110 s, H-L = 140 s, alle anderen Paarungen = * [wie 4.1.2.2]

4.1.5.2 Abhängigkeiten zum Parallelbahnsystem beim Start von Startpunkt 18/S

Beginnt ein Startlauf auf RWY 18 an der Einmündung der Rollbahn S, verringert sich die Zeit bis zum Erreichen des Kreuzungspunktes mit der verlängerten Bahnachse RWY 25S auf 45 s (vgl. Tabelle 4-1). Es ergeben sich folgende Staffelungswerte:

- Staffellungen zwischen Startlaufbeginn 18/S und den Operationen auf den Bahnen 25L/07R sowie 25R/07L entfallen aufgrund der Lage der Bahnen zueinander
- Anflug 25S zu Abflug 18/S = 10 s (alle Paarungen) [wie 4.1.2.2]
- Abflug 18/S zu Anflug 25S = 2.0 NM (alle Paarungen) [wie 4.1.4.2]
- Abflug 18/S zu Abflug 25S = 45 s (alle Paarungen) [wie 4.1.3.2]
- Abflug 25S zu Abflug 18/S: H-H = 145 s, H-M (M-L) = 175 s, H-L = 205 s, alle anderen Paarungen = 70 s [wie 4.1.3.2]
- Abflug 18/S zu Anflug 07S = 4.5 NM (alle Paarungen) [wie 4.1.4.2]
- Anflug 07S zu Abflug 18/S: H-H = 85 s, H-M (M-L) = 115 s, H-L = 145 s, alle anderen Paarungen = * [wie 4.1.2.2]

4.1.5.3 Zeitstaffelungen zwischen Abflügen

Bei der Bestimmung dieser Staffelung sind, abhängig vom gewählten Startpunkt auf RWY 18, drei Fälle zu unterscheiden:

- (a) zwei aufeinanderfolgende Abflüge vom gleichen Startpunkt
- (b) Abflug von einem südlichen Startpunkt vor einem Abflug von einem nördlicheren Startpunkt (z.B. 18/S vor 18/N)
- (c) Abflug von einem südlichen Startpunkt nach einem Abflug von einem nördlicheren Startpunkt (z.B. 18/S nach 18/N)

Im Fall (a) ergeben sich keinerlei Änderungen in den Zeiten gegenüber der Darstellung in Abschnitt 4.1.3.1. In Zustand (b) ist zu sichern, dass der Vorausfliegende die Bahn verlassen hat, bevor der Nachfolgende eine Startfreigabe erhält.²⁷ Die entsprechenden Zeiten zeigt Tabelle 4-2. So benötigt ein Abflug von Startpunkt 18/S 50 s bis zum Überflug des Bahnendes 18. Eine Gefährdung durch Wirbelschleppen ist hier nicht zu erwarten, da der Nachfolgende bereits an einem nördlicheren Punkt abhebt und somit das Gebiet der Wirbel des Vorausfliegenden nicht durchfliegt.

Gilt Fall (c), wird zu der anzuwendenden Wirbelschleppenstaffelung zwischen zwei Abflügen die Zeit addiert (siehe Tabelle 4-2), die der voraus Startende bis zum Passieren des Startpunktes des Nachfolgenden benötigt.

Für die Kombination Medium von 18/S nach einem Heavy von 18/N bedeutet dies:

- Wirbelschleppenstaffelung: 108 s
- Zeit zwischen 18/N und 18/S: 45 s
- Staffelung: $108 + 45 = 153$ s

Alle weiteren Paarungen lassen sich nach dem gleichen Schema berechnen.

Startpunkt (A)	Zielpunkt (B)	Abstand (A) zu (B) in [m]	Zeit in [s]
18/N	Bahnende 18	4000	65
18/C	Bahnende 18	3480	60
18/S	Bahnende 18	2280	50
18/N	18/C	520	25
18/N	18/S	1720	45
18/C	18/S	1200	30

²⁷ DFS, BA FVK, S. 32 – 2, Abs. 322.1.

Tabelle 4-2: Zeit zwischen Beginn des Startlaufes und Passieren bestimmter Punkte

4.2 Anfluggeschwindigkeiten

Für die Berechnung der Bahnkapazität ist die mittlere Anfluggeschwindigkeit auf dem letzten Teilstück vor der Landebahnschwelle maßgebend. In der FAA-Studie wurde diese Geschwindigkeit für alle Gewichtsklassen (H/M/L) mit 160 kt angegeben.²⁸ Datenauswertungen des DLR aus dem Jahr 1990 haben jedoch gezeigt, dass die tatsächlich geflogenen Geschwindigkeiten davon abweichen und – erwartungsgemäß - gewichtsklassenspezifisch verschieden sind. Für die letzten 2.5 NM vor der Schwelle wurden, mit einer Abweichung in den Einzelmessungen von bis zu 10 kt, mittlere Werte der Anfluggeschwindigkeit von 136 kt (Heavy), 129 kt (Medium) sowie 121 kt (Light) bestimmt.²⁹

Neuere, zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Studie noch nicht vollständig vorliegende, Auswertungen einer IST-Analyse des Frankfurter Flughafens zeigen jedoch eine Tendenz zu höheren Anfluggeschwindigkeiten. Daher wurden die Werte aus dem Jahr 1990 im Rahmen vorab dargestellter Messgenauigkeit erhöht. Es ergaben sich näherungsweise folgende Einzelwerte der Anfluggeschwindigkeiten nach Gewichtsklassen:

- Heavy: 145 kt
- Medium: 140 kt
- Light: 130 kt

4.3 Verkehrsbeispiele

4.3.1 Prognoseflugplan

Die Fraport AG stellte einen Prognoseflugplan mit spezifischer Verkehrsverteilung für die zu untersuchenden Varianten zur Verfügung. Dieser basiert auf einem Spitzentag des Jahres 1999 und wurde von Fraport auf eine Gesamtzahl von 1950 Bewegungen (je 975 An-/Abflüge) erweitert. Er spiegelt das für das Jahr 2015 erwartete Verkehrsaufkommen wider, welches durch die mittlere tägliche Verkehrszusammensetzung der Gewichtsklassen - Heavy zu 37%, Medium zu 62%, Light zu 1% - charakterisiert wird. Weiterhin berücksichtigt wird eine stündlich wechselnde Nachfrage mit der entsprechenden Verkehrsverteilung auf die Bahnen. Der typische Verlauf der Verkehrsnachfrage eines derartigen Prognoseflugplans ist beispielhaft in Abbildung 4-6 dargestellt.

Im Prognoseflugplan sind Ereigniszeiten für Anflüge und Abflüge als Planzeiten über der Schwelle in einem 5-min-Raster ausgewiesen. Für die Simulation wurden anhand der Standardreisezeiten diese Schwellenzeiten auf die entsprechenden Eintrittszeiten in die Simulation zurückgerechnet und mit einer normalverteilten Streuung von ± 2.5 min versehen. So können systematische, jedoch unrealistische, Verspätungen durch das gleichzeitige Auftreten der Luftfahrzeuge an den Eintrittspunkten der Simulation verhindert werden.

²⁸ Holladay, R. J., FAA_2, S. 12, Table 12.

²⁹ Brokof, U., Knabe, F., Schenk, H.-D., Zenz, H.-P., Radardaten, S. 45.

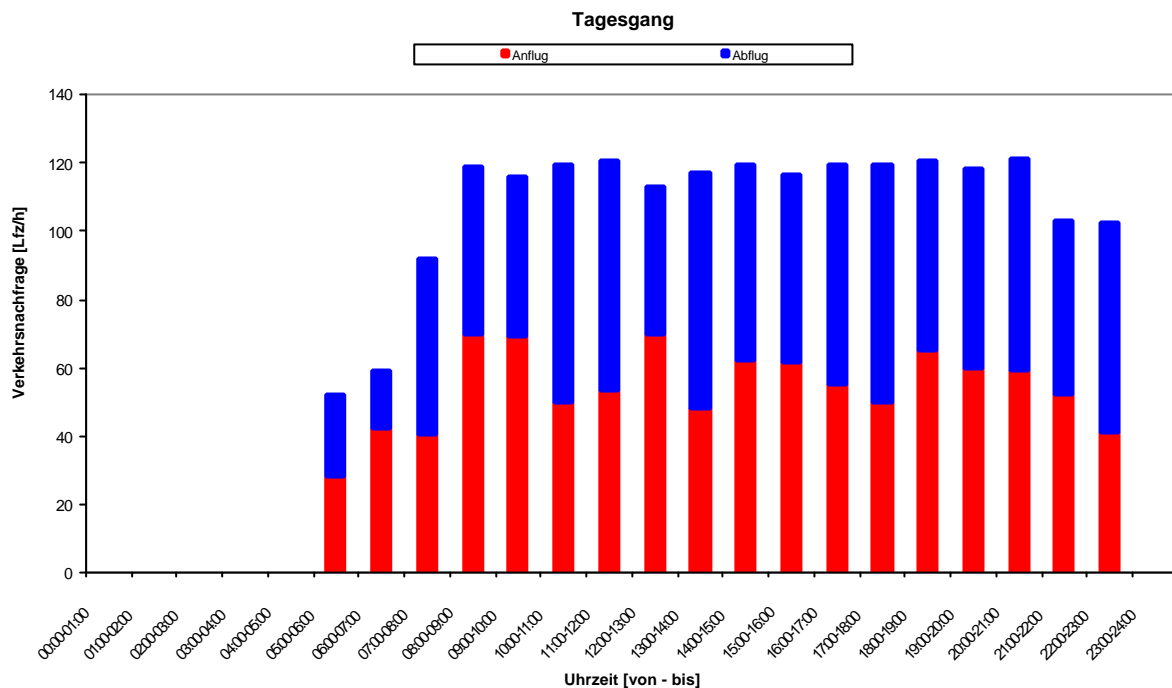


Abbildung 4-6: Typischer Tagesgang des Prognoseflugplans

Die verschiedenen variantenspezifischen Verkehrsverteilungen des Prognoseflugplans werden in den weiteren Ausführungen mit folgender Nummerierung bezeichnet:

- Variante 3, BR 25, ursprüngliche Vorgabe ⇒ **(1)**
- Variante 3, BR 07, ursprüngliche Vorgabe ⇒ **(2)**
- Variante 3, BR 25, überarbeitete Vorgabe ⇒ **(3)**
- Variante 3, BR 07, überarbeitete Vorgabe ⇒ **(4)**
- Variante 9a, BR 25 ⇒ **(5)**
- Variante 9a, BR 07 ⇒ **(6)**
- Variante 9b, BR 25 ⇒ **(7)**
- Variante 9b, BR 07 ⇒ **(8)**

Der Prognoseflugplan gilt bezüglich der Gesamtbewegungszahl, der Verkehrszusammensetzung für an- und abfliegenden Verkehr sowie der zeitlichen Abfolge der individuellen Ereignisse, unabhängig von der Betriebsrichtung, gleichermaßen für alle Varianten. Unterschiede zeigen sich gegebenenfalls in der Verkehrsverteilung auf die Bahnen. Diese sind im einzelnen Tabelle 4-3 bis Tabelle 4-8 zu entnehmen.

RWY	Variante 3						Σ
	Anflüge [Lfd]			Abflüge [Lfd]			
	H	M	L	H	M	L	
25R	0	0	0	194	243	3	440
25L	241	375	9	0	0	0	625
25S	110	239	1	14	218	1	583
18/N	0	0	0	144	153	5	302
Σ	351	614	10	352	614	9	1950

Tabelle 4-3: Bewegungen Verkehrsverteilung (1)

RWY	Variante 3						Σ
	Anflüge [Lfd]			Abflüge [Lfd]			
	H	M	L	H	M	L	
07L	243	371	9	0	0	0	623
07R	0	0	0	176	216	3	395
07S	108	243	1	15	191	0	558
18/N	0	0	0	161	207	6	374
Σ	351	614	10	352	614	9	1950

Tabelle 4-4: Bewegungen Verkehrsverteilung (2)

RWY	Variante 3						Σ
	Anflüge [Lfd]			Abflüge [Lfd]			
	H	M	L	H	M	L	
25R	0	0	0	188	292	6	486
25L	214	316	5	0	0	0	535
25S	137	298	5	13	35	1	489
18/C	0	0	0	151	287	2	440
Σ	351	614	10	352	614	9	1950

Tabelle 4-5: Bewegungen Verkehrsverteilung (3)

RWY	Variante 3						Σ
	Anflüge [Lfz]			Abflüge [Lfz]			
	H	M	L	H	M	L	
07L	201	321	6	0	0	0	528
07R	0	0	0	192	309	4	505
07S	150	293	4	128	172	2	749
18/C	0	0	0	32	133	3	168
Σ	351	614	10	352	614	9	1950

Tabelle 4-6: Bewegungen Verkehrsverteilung (4)

RWY	Variante 9a / 9b						Σ
	Anflüge [Lfz]			Abflüge [Lfz]			
	H	M	L	H	M	L	
25N	125	382	7	0	0	0	514
25R	0	0	0	152	276	6	434
25L	226	232	3	0	0	0	461
18/N	0	0	0	200	247	3	450
18/S	0	0	0	0	91	0	91
Σ	351	614	10	352	614	9	1950

Tabelle 4-7: Bewegungen Verkehrsverteilungen (5) und (7)

RWY	Variante 9a / 9b						Σ
	Anflüge [Lfz]			Abflüge [Lfz]			
	H	M	L	H	M	L	
07N	119	352	7	0	0	0	478
07L	0	0	0	170	246	3	419
07R	232	262	3	0	0	0	497
18/C	0	0	0	182	277	6	465
18/S	0	0	0	0	91	0	91
Σ	351	614	10	352	614	9	1950

Tabelle 4-8: Bewegungen Verkehrsverteilungen (6) und (8)

4.3.2 Theoretische Verkehrsbeispiele

Im Gegensatz zu einem Prognoseflugplan enthält ein theoretisches Verkehrsbeispiel eine synthetisch erzeugte, stündlich konstante Verkehrsnachfrage (Anzahl Anflüge = Anzahl Abflüge), unabhängig von der Anzahl der Betriebsstunden. Die individuellen Ereigniszeiten werden sekundengenau, basierend auf einer Gleichverteilung, erzeugt.

Nachfragerrelevante Parameter wie Verkehrszusammensetzung und Verkehrsverteilung auf die Bahnen werden hierbei als Tagesmittelwerte des Prognoseflugplans in jede Stunde des theoretischen Verkehrsbeispiels übertragen. Welche Anzahl an Betriebsstunden das theoretische Verkehrsbeispiel enthält, hängt vom Zweck der jeweiligen Untersuchung ab. In den Simulationen der vorliegenden Studie wurden 24 aufeinanderfolgende Stunden betrachtet.

Unter den genannten Bedingungen lässt sich zu jedem beliebigen Nachfrageniveau das jeweilige theoretische Verkehrsbeispiel erzeugen. Abbildung 4-7 zeigt beispielhaft eine Nachfrage von 120 Bewegungen pro Stunde mit 60 Anflügen und 60 Abflügen pro Stunde.

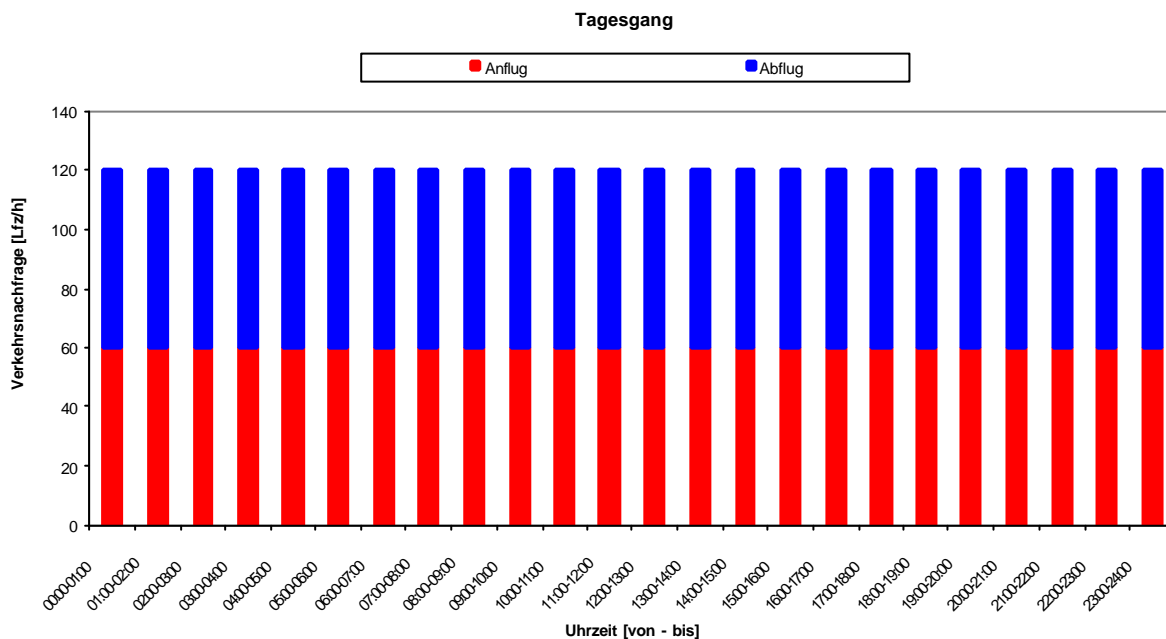


Abbildung 4-7: Typischer Tagesgang eines theoretischen Verkehrsbeispiels

5. Modellierung durch Simmod Plus!

SIMMOD ist ein generisches Simulationsmodell, mit dem der Verkehrsablauf an einem beliebigen Flughafen simuliert werden kann. Es ist als Workstation-Version und als PC-Version für Windows unter dem Namen „SIMMOD PLUS!“ verfügbar. Für die Untersuchungen wurde das modernere Modell „SIMMOD PLUS!“ mit der Simulationsengine Version 2.4.2 eingesetzt.

Um den Verkehrsablauf an einem konkreten Flughafen zu simulieren, ist es erforderlich, die vom Modell als Eingabedaten vorhergesehenen Modellparameter möglichst realitätsgetreu zu ermitteln. Nach Festlegung der Modellparameter kann dann mit Hilfe von Tagesflugplänen der verkehrliche Ablauf simuliert werden. Der Tagesflugplan repräsentiert die Verkehrsnachfrage am Flughafen. Nach Durchführung eines Simulationslaufes erhält man das Ergebnis in Form von Zahlentabellen über verschiedenartige Verspätungen und über den mittleren Verkehrsfluss am Boden und in der Luft. Diese Daten bilden die Ausgangslage zur Schätzung der Kapazität. Funktionen und Arbeitsweise von SIMMOD sind z.B. in der „SIMMOD Documentation“³⁰ der FAA enthalten.

Ziel der Untersuchungen war nur die Bestimmung der Bahnkapazität ausgewählter Varianten. Um dies zu ermöglichen, war es bei der Implementierung der verschiedenen Bahnkonfigurationen nötig, die Einflüsse der Luftraum- bzw. Bodenstruktur auf die Ergebnisse zu vermeiden. Aus diesem Grund wurde das Modell wie folgt ausgelegt:

- Reduzierung des modellierten Luftraums im An- und Abflugbereich auf das letzte Teilstück vor der jeweiligen Schwelle
- Berücksichtigung eines „opening-Effekts“ bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten im Anflug ($v_{Lz, \text{vorausfliegend}} > v_{Lz, \text{nachfolgend}}$) \Rightarrow Längsstaffelungen werden auf die jeweilige Schwelle bezogen (mittlere Staffelungswerte dieser Paarungen sind in der Simulation um den Betrag geringer eingestellt, den das nachfolgende Lfz auf dem letzten Teilstück vor der Schwelle zurückfällt)
- Bodenstruktur ermöglicht konfliktfreies Rollen, Überholen und Kreuzen \Rightarrow verhindert Entstehung von Verspätungen am Boden
- separate Abflugwarteschlangen nach Gewichtsklasse (pro RWY) \Rightarrow Lfz, dass aufgrund von Staffelungen wartet, blockiert nicht den möglichen Abflug eines Lfz aus einer anderen Warteschlange
- keine Be- und Entladezeiten \Rightarrow Lfz wird sofort nach Eintritt in die Simulation zur Bahn gerollt (Abflug), verlässt die Simulation sofort nach Andocken am Gate (Anflug)

³⁰ FAA/ATAC, FAA96.

6. Ergebnisergebnisgewinnung

Jede in dieser Studie durchgeführte Simulation wurde als Mehrfachsimulation ausgeführt, d.h. dass zu jedem theoretischen oder praktischen Verkehrsbeispiel 6 Iterationen erfolgten. Diese Vorgehensweise stellt einen Kompromiss aus statistischer Sicherheit der Ergebnisse und Rechenzeit der Einzelsimulationen dar. Eine Erhöhung der Iterationsanzahl auf bis zu 100 erbrachte lediglich minimale Abweichungen der Ergebnisse (1 min Unterschied in der mittleren Verspätung des getesteten Verkehrsbeispiels mit 6 Iterationen zum gleichen Beispiel mit 100 Iterationen) bei außerordentlichem Anstieg der Rechenzeit.

6.1 Prognoseflugplan

Die Simulation eines Prognoseflugplans erlaubt die Beantwortung der Frage, inwieweit sich die vorhandene Verkehrsnachfrage mit einem gewünschten Verspätungsniveau vom Bahnsystem verarbeiten lässt. Aussagen über einen Kapazitätswert können nicht getroffen werden, da pro Untersuchung genau ein Flugplan vorliegt. Dieser liefert für Anflug, Abflug und Total in einem bestimmten Zeitintervall (Stunde, Tag) jeweils genau einen Wert für die mittlere Verspätung, die anhand von Gleichung 6-1 berechnet wird.

$$D_{ave} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (\text{Gleichung 6-1})$$

mit:

n = Anzahl der Zeitintervalle i ($n = 1$ für Stundenwerte; $n = 24$ für Tagesmittel)

D_{ave} = mittlere Verspätung pro Lfz

D_i = Gesamtverspätung im Zeitintervall i

F_i = Verkehrsfluss im Zeitintervall i

6.2 Theoretische Verkehrsbeispiele

Simulationen mit theoretischen Verkehrsbeispielen geben Aufschluss darüber, bei welcher mittleren Verkehrsnachfrage (unter Berücksichtigung der Struktur des Verkehrsbeispiels) ein gewünschtes Verspätungsniveau von 4 min/mov erreicht wird. Dazu wurde das in Abbildung 6-1 schematisch dargestellte Verfahren entwickelt.

Zunächst wird ein erster Flugplan mit gleicher Anzahl n An- und Abflügen für eine Variante erzeugt. Nach der anschließenden Simulation lässt sich eine mittlere Verspätung über den Tag bestimmen. Ist diese kleiner als 4 min/mov, wird der Vorgang mit einem neuen Flugplan, der je einen An- und Abflug mehr enthält, wiederholt. Anderenfalls, bei einer Verspätung von mehr als 4 min/mov, wird das Verfahren mit je einem An- und Abflug weniger wiederholt. Dies geschieht so lange, bis sich der Wert von 4 min/mov im Mittel einstellt. An dieser Stelle wird der Vorgang

beendet, das Endergebnis liegt vor. Die zu dem Verspätungswert gehörende mittlere tägliche Nachfrage kann als praktische Kapazität angesehen werden. Dafür ist jedoch Voraussetzung, dass die Verkehrsbeispiele Parameter wie in Abs. 4.3.2 beschrieben, aufweisen.

Das Verfahren ist für Anflüge, Abflüge und Gesamtbewegungen separat anzuwenden, d.h. ein kompletter Durchlauf liefert jeweils einen Wert für An-, Abflug oder Totalkapazität.

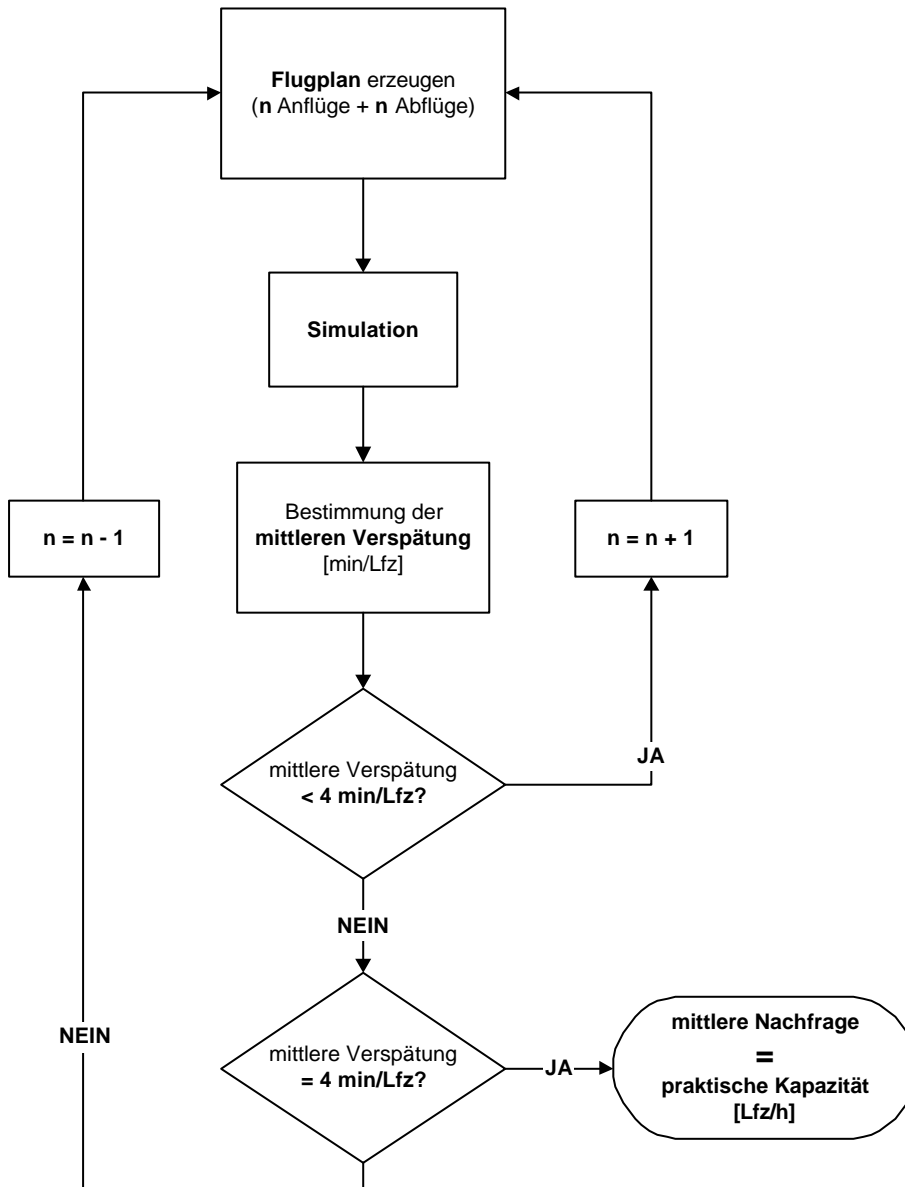


Abbildung 6-1: Bestimmung der praktischen Kapazität aus theoretischen Verkehrsbeispielen

7. Ergebnisse

Die folgenden Abschnitte beschränken sich in der Gültigkeit der Aussagen auf die vorab beschriebene Untersuchungsmethode mit ihren speziellen Eingangsparametern (Staffelungen, Verkehrsbeispiele, Geschwindigkeiten) und Charakteristiken (Simulationsmodelleigenschaften).

Nachfolgend dargestellte Ergebnisübersichten beinhalten u.a. das jeweils verwendete Nutzungskonzept (rote Pfeile zur Bahn weisend: Anflüge, grüne Pfeile von der Bahn weisend: Abflüge) sowie die Verkehrsverteilung auf die Bahnen (siehe Abbildung 7-1).


	64	=	Anteil der Bahn an der gesamten Nachfrage (An- oder Abflüge) in [%]
	[69/61/90]	=	Verteilung der Gewichtsklassen auf die Bahnen nach An- und Abflug in [%]

Abbildung 7-1: Legende zu den Ergebnisübersichten

Der Beispielwert von 64 (obere Zeile) gibt an, dass 64% aller Anflüge die entsprechende Bahn benutzen. Diese 64% setzen sich aus 69% der Anflüge der Gewichtsklasse Heavy, 61% der Anflüge der Gewichtsklasse Medium und 90% der Anflüge der Gewichtsklasse Light zusammen (untere Zeile: Angabe in eckigen Klammern). Für Abflüge gilt die Art der Darstellung analog.

Bei Startbahn 18 wird die Verteilung auf den jeweils nach Flugplan benutzten Startpunkt (18/N, 18/C bzw. 18/S) bezogen und in den entsprechenden Grafiken veranschaulicht.

7.1 Variante Start- und Landebahn Süd mit Startbahn 18 (Variante 3)

Die ersten Berechnungen für Variante 3 ergaben auf der Basis einer Verkehrsverteilungsvorgabe (1) schon für die Anflüge in der Hauptbetriebsrichtung 25 eine für eine betriebliche Planung unakzeptable mittlere Anflugverspätung pro Luftfahrzeug von 23:45 Minuten (Tabelle 7-1). Grund hierfür ist die Überlastung der allein für Landungen genutzten Bahn 25L mit im Mittel 64% aller Anflüge.

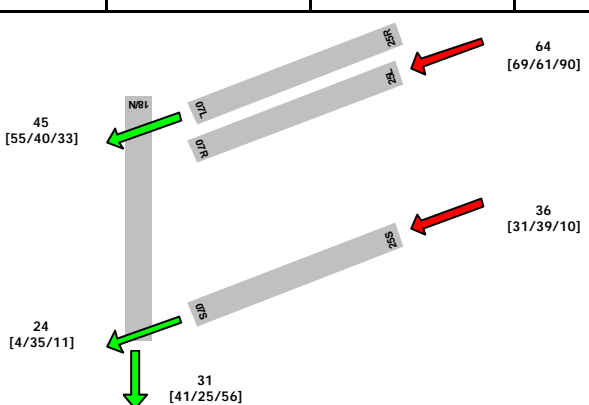
Variante 3	mittlere Verspätung am Tag in [min/mov]					
	Anflug	Abflug	Total			
	23:45	04:46	14:16			
 <p>Das Diagramm zeigt die Verkehrsverteilung für Variante 3. Es illustriert die Anflüge (grüne Pfeile) und Abflüge (rote Pfeile) auf den Runways 25R, 25L, 25S und 18/N. Die mittlere Verspätung pro Flugbewegung (mov) ist für jede Richtung angegeben: 45 min für Anflüge auf 18/N, 24 min für Anflüge auf 25S, 31 min für Abflüge von 25S, 64 min für Abflüge von 25L und 36 min für Abflüge von 25R. Die Werte in Klammern [H/M/L] geben die Verteilung der Verspätungen an.</p>						
RWY	Anflüge [Lfz]			Abflüge [Lfz]		
	H	M	L	H	M	L
25R	0	0	0	194	243	3
25L	241	375	9	0	0	0
25S	110	239	1	14	218	1
18/N	0	0	0	144	153	5

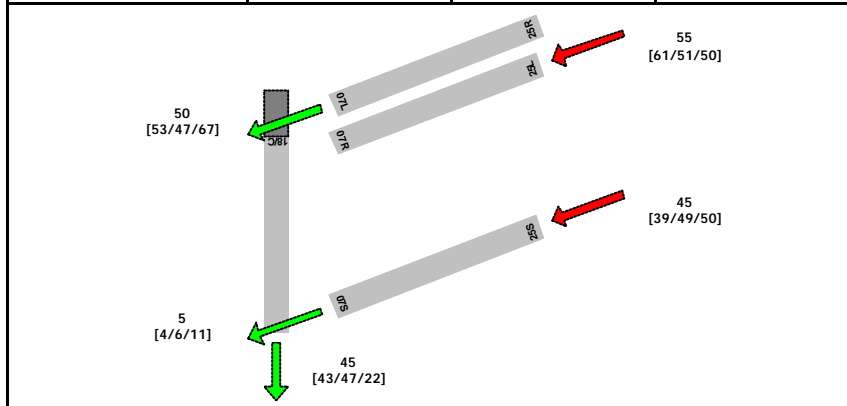
Tabelle 7-1: Ergebnisübersicht Prognoseflugplan mit Verkehrsverteilung (1)

In Betriebsrichtung 07 war in der Verkehrsverteilung des Prognoseflugplans für die Anflüge mit 64% auf 07L eine gleiche ungünstige Verteilung auf die Bahnen wie in BR 25 enthalten.

Deshalb wurden von Fraport für Variante 3 modifizierte Verkehrsverteilungen (3) für BR 25 und (4) für BR 07 zur Verfügung gestellt, welche die Belastung der Bahn 25L (bzw. 07L) durch Anflüge reduzierten.

Für BR 25 stellte sich damit für Anflüge eine mittlere Verspätung von knapp unter 5 Minuten ein. Bei einer mittleren Abflugverspätung von nur 3 Minuten, ergab sich insgesamt ein für die Auslegung einer betrieblichen Verkehrsdurchführung akzeptables Verspätungsniveau von etwa 4 Minuten pro Flugbewegung (siehe Tabelle 7-2).

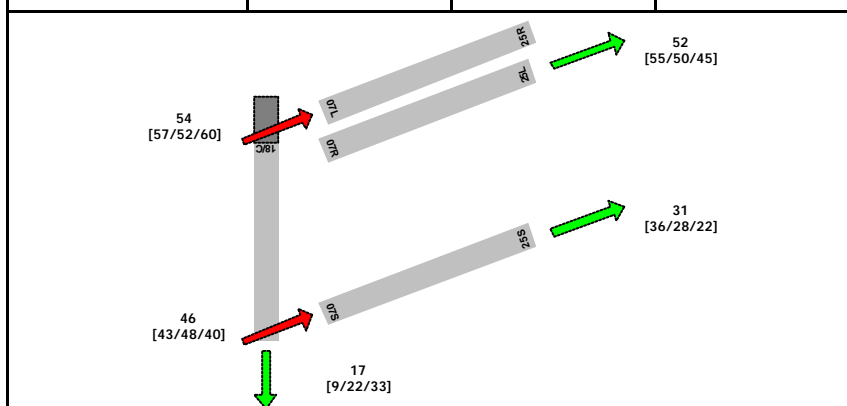
Variante 3	mittlere Verspätung am Tag in [min/mov]		
	Anflug	Abflug	Total
	04:48	03:08	03:58



RWY	Anflüge [Lfz]			Abflüge [Lfz]		
	H	M	L	H	M	L
25R	0	0	0	188	292	6
25L	214	316	5	0	0	0
25S	137	298	5	13	35	1
18/C	0	0	0	151	287	2

Tabelle 7-2: Ergebnisübersicht Prognoseflugplan mit Verkehrsverteilung (3)

Variante 3	mittlere Verspätung am Tag in [min/mov]		
	Anflug	Abflug	Total
	04:50	08:09	06:30



RWY	Anflüge [Lfz]			Abflüge [Lfz]		
	H	M	L	H	M	L
07L	201	321	6	0	0	0
07R	0	0	0	192	309	4
07S	150	293	4	128	172	2
18/C	0	0	0	32	133	3

Tabelle 7-3: Ergebnisübersicht Prognoseflugplan mit Verkehrsverteilung (4)

Für die zugehörige Verkehrsverteilung (4) in BR 07 wurde bei der Anflugverspätung ein ähnliches Ergebnis, wie bei BR 25 erreicht. Dieses liegt an der nur um 1% unterschiedlichen Aufteilung der

Anflüge auf die beiden Landebahnen. Im Abflugbereich entstand dagegen mit 8 Minuten pro Flugbewegung eine schon deutlich höhere mittlere Verspätung, so dass sich dadurch auch das Gesamtverspätungsniveau über 6 Minuten hebt (siehe Tabelle 7-3).

Aus den theoretischen Verkehrsbeispielen, welche aus den Verkehrsverteilungen (3) und (4) abgeleitet wurden, ergaben sich die folgenden praktischen Kapazitätswerte:

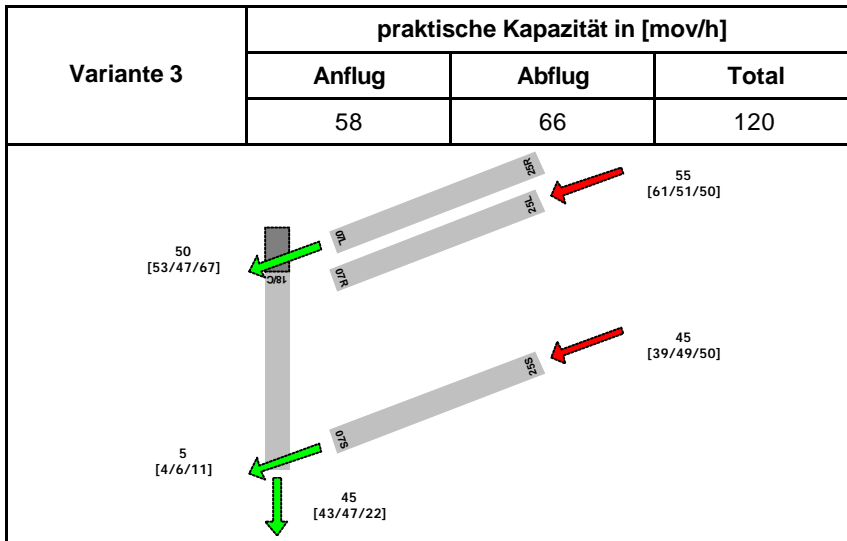


Tabelle 7-4: Ergebnisübersicht theoretische Verkehrsbeispiele mit Verkehrsverteilung (3)

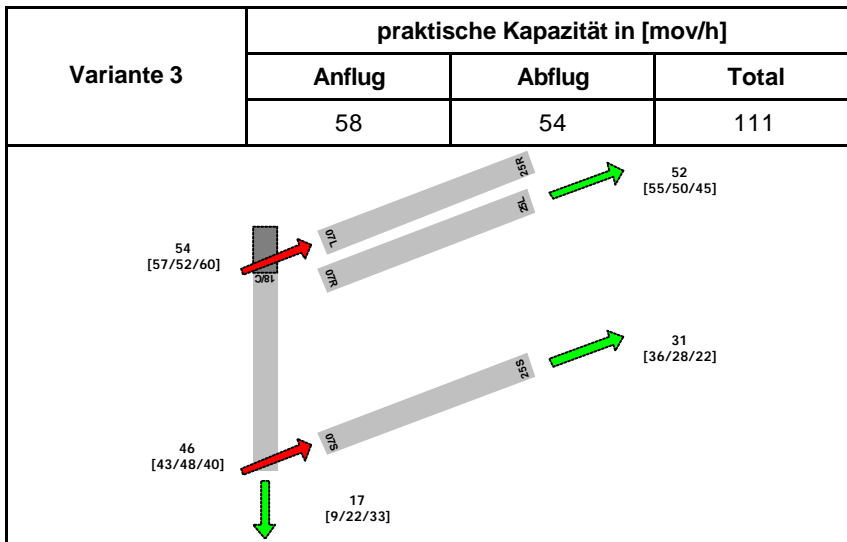


Tabelle 7-5: Ergebnisübersicht theoretische Verkehrsbeispiele mit Verkehrsverteilung (4)

Hier zeigt sich die gleiche Tendenz wie beim Prognoseflugplan selbst. Während in BR 25 die 120 Bewegungen insgesamt erreicht werden (siehe Tabelle 7-4), wird in BR 07 schon unter 54 Abflügen eine mittlere Abflugverspätung von 4 Minuten erreicht. Bei den Gesamtbewegungen wird das 4 Minuten Verspätungsniveau zwischen einer Nachfrage von 55 und 56 Anflügen (und damit auch 55 bzw. 56 Abflügen) erreicht, was somit 111 Flugbewegungen entspricht (siehe Tabelle 7-5).

Zusätzlich wurden auf der Basis der Verkehrsverteilungen (1) und (2) und prozentual gleicher Aufteilung des Abflugverkehrs auf die Bahnen – aber auch unter Nutzung von Intersection Takeoff auf Startbahn 18 – praktische Kapazitätswerte berechnet.

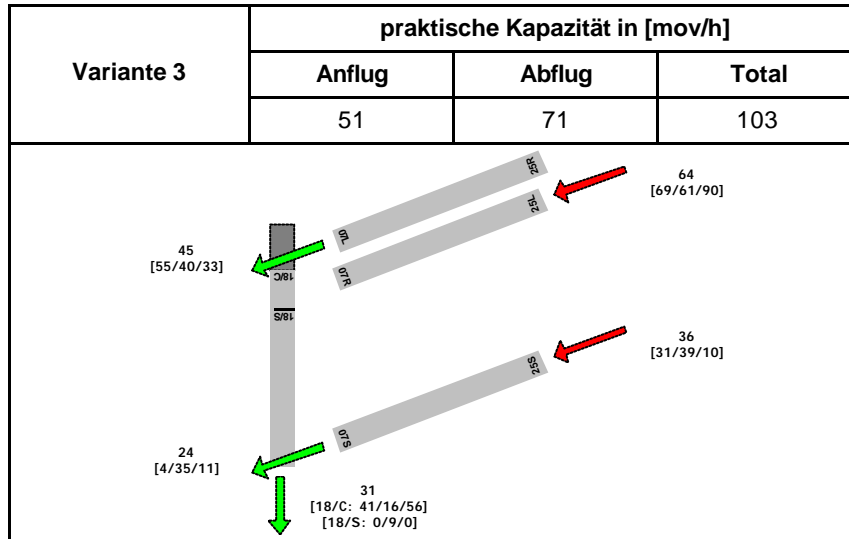


Tabelle 7-6: Ergebnisübersicht theoretische Verkehrsbeispiele mit Verkehrsverteilung (1)

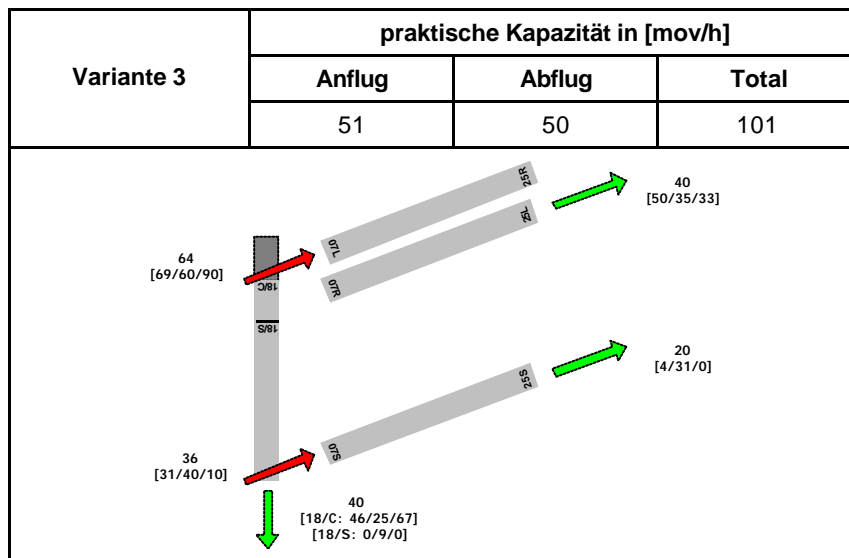


Tabelle 7-7: Ergebnisübersicht theoretische Verkehrsbeispiele mit Verkehrsverteilung (2)

Auch hier zeigen sich Probleme im Anflugbereich, die bereits bei der Simulation des Prognoseflugplans mit Verkehrsverteilung (1) auftraten. Mit einer praktischen Anflugkapazität in beiden Betriebsrichtungen von nur 51 Bewegungen pro Stunde besteht unter diesen Bahnnutzungsbedingungen keine Möglichkeit, eine praktische Gesamtkapazität von 120 Bewegungen zu erreichen (siehe Tabelle 7-6 + Tabelle 7-7).

7.2 Variante Landebahn Nordost (Variante 9a)

Variante 9a erreicht mit dem Prognoseflugplan und der Verkehrsverteilung (5) Anflugverspätungen von knapp über 4 Minuten pro Flugbewegung. Diese Verteilung weist damit bezüglich der Anflüge auf die beiden Landebahnen mit 53% auf 25N und 47% auf 25L eine günstigere Konstellation auf als bei der Verkehrsverteilung für Variante 3. Es ergibt sich damit ein Vorsprung von etwa 30 Sekunden in der mittleren Anflugverspätung gegenüber den besten Werten für die Variante 3.

Die Abflugverspätung stellt sich bei Abwicklung von 55% des startenden Verkehrs über Startbahn 18 (davon 82% ab Startpunkt 18/N) im Mittel unter 2 Minuten ein. Damit lässt sich mit dieser Verkehrsverteilung insgesamt eine mittlere Verspätung von knapp unter 3 Minuten erreichen (siehe Tabelle 7-8).

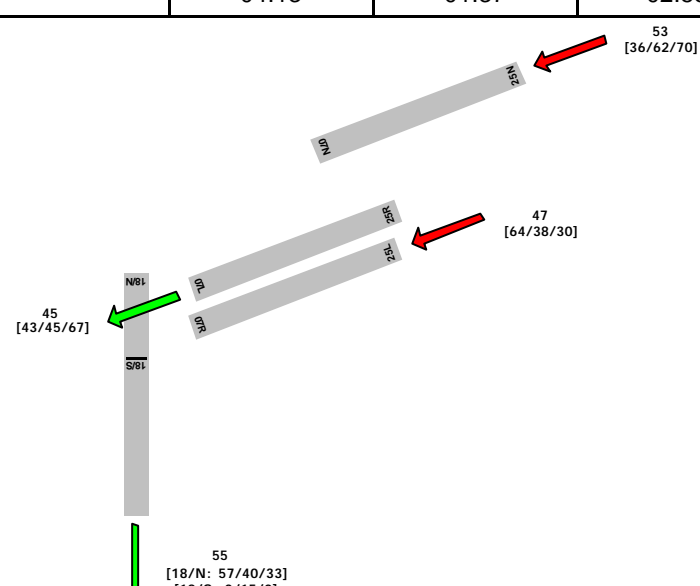
Variante 9a	mittlere Verspätung am Tag in [min/mov]					
	Anflug	Abflug	Total			
	04:13	01:37	02:55			
						
RWY	Anflüge [Lflz]			Abflüge [Lflz]		
	H	M	L	H	M	L
25N	125	382	7	0	0	0
25R	0	0	0	152	276	6
25L	226	232	3	0	0	0
18/N	0	0	0	200	247	3
18/S	0	0	0	0	91	0

Tabelle 7-8: Ergebnisübersicht Prognoseflugplan mit Verkehrsverteilung (5)

Für Betriebsrichtung 07 werden mit der Verkehrsverteilung (6) im Anflug im Mittel mit ca. 4.5 Minuten leicht höhere Verspätungen als bei Betriebsrichtung 25 erreicht.

Für die Abflüge zeigt sich, dass die Verlegung von Bahn 18 Starts vom Startpunkt 18/N auf Startpunkt 18/C, welche die sonst benötigte Blockierdistanz von 4 NM gegenüber Landungen auf Bahn 07R auf 1,5 NM reduziert und zusätzlich die Beachtung von Wirbelschleppenstaffelung

nach Landungen auf 07R entbehrlich macht, eine sehr gute mittlere Abflugverspätung von unter 2 Minuten ermöglicht. Mit knapp über 3 Minuten mittlerer Gesamtverspätung erreicht der Prognoseflugplan mit dieser Verkehrsverteilung damit insgesamt ein sehr günstiges Verspätungsniveau (siehe Tabelle 7-9).

Variante 9a	mittlere Verspätung am Tag in [min/mov]					
	Anflug	Abflug	Total			
	04:27	01:46	03:07			
RWY	Anflüge [Lfz]			Abflüge [Lfz]		
	H	M	L	H	M	L
07N	119	352	7	0	0	0
07L	0	0	0	170	246	3
07R	232	262	3	0	0	0
18/C	0	0	0	182	277	6
18/S	0	0	0	0	91	0

Tabelle 7-9: Ergebnisübersicht Prognoseflugplan mit Verkehrsverteilung (6)

Die aus den zugehörigen theoretischen Flugplänen abgeleiteten praktischen 4 Minuten-Kapazitätswerte für Anflüge zeigen mit 61 bzw. 60 Bewegungen pro Stunde in beiden Betriebsrichtungen - bei noch höheren praktischen Kapazitätswerten für Abflüge - dass 120 Bewegungen pro Stunde sicher erreicht werden können. Die Abflugverspätungen erreichen für beide Betriebsrichtungen erst bei 79 Abflügen ein Verspätungsniveau von 4 Minuten. Dies zeigt für die angenommene Verkehrsverteilung, dass für diese Variante eine gute Entkopplung zwischen An- und Abflügen erreicht werden konnte. Dementsprechend werden für die Gesamtbewegungen in Betriebsrichtung 25 mittlere Verspätungen von 4 Minuten erst bei gleicher An- und Abflughnachfrage zwischen 65 und 66 Bewegungen erhalten. Geringere Abflugverspätungen kompensieren damit in der Verspätungsbilanz der Gesamtbewegungen die Anflugverspätungen über 4 Minuten (siehe Tabelle 7-10).

In Betriebsrichtung 07 sorgt die um eine Bewegung niedrigere Anflugkapazität für ein Passieren der 4 Minuten Gesamtverspätung schon bei einer An-/Abflugnachfrage zwischen 63 und 64 Bewegungen (siehe Tabelle 7-11).

Diese Variante kann für beide Betriebsrichtungen sicher 120 Bewegungen pro Stunde zu akzeptablen Verspätungen bewältigen.

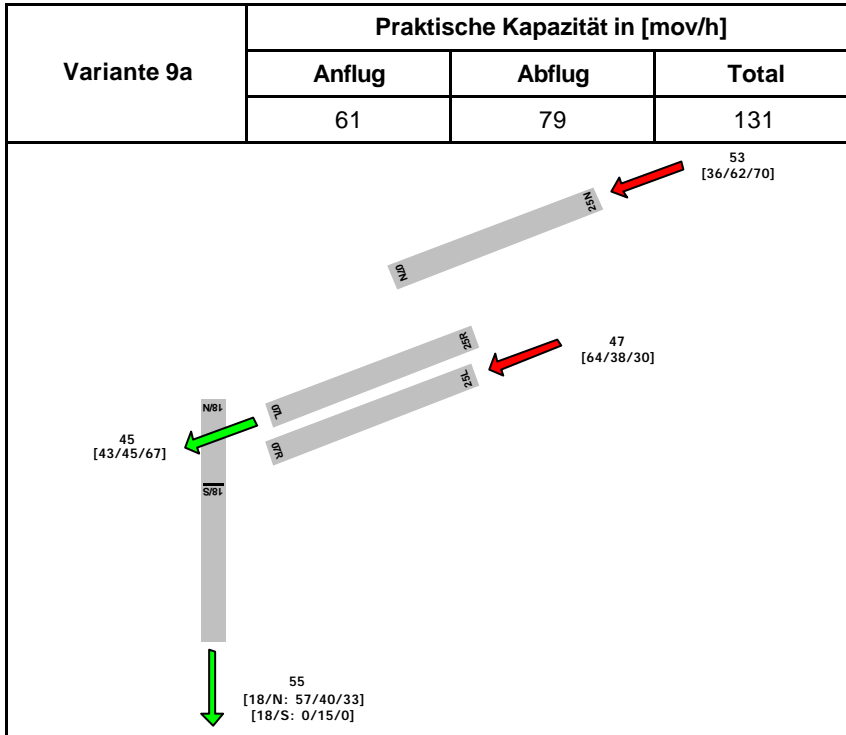


Tabelle 7-10: Ergebnisübersicht theoretische Verkehrsbeispiele mit Verkehrsverteilung (5)

Variante 9a	Praktische Kapazität in [mov/h]		
	Anflug	Abflug	Total
	60	79	125

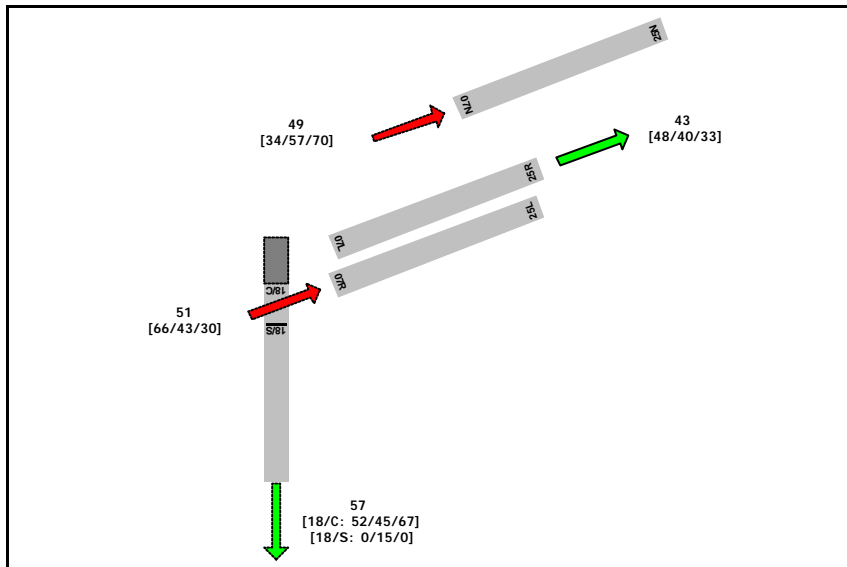


Tabelle 7-11: Ergebnisübersicht theoretische Verkehrsbeispiele mit Verkehrsverteilung (6)

7.3 Vorzugsvariante Landebahn Nordwest (Variante 9b)

Da die Varianten 9a und 9b bezüglich der Bahnkapazität identische Werte liefern, unterscheiden sich die Ausführungen im folgenden Abschnitt nicht von den vorab in Abs. 7.2 getroffenen Aussagen.

Variante 9b erreicht mit dem Prognoseflugplan und der Verkehrsverteilung (7) Anflugverspätungen von knapp über 4 Minuten pro Flugbewegung. Diese Verteilung weist damit bezüglich der Anflüge auf die beiden Landebahnen mit 53% auf 25N und 47% auf 25L eine günstigere Konstellation auf als bei der Verkehrsverteilung für Variante 3. Es ergibt sich damit ein Vorsprung von etwa 30 Sekunden in der mittleren Anflugverspätung gegenüber den besten Werten für die Variante 3.

Die Abflugverspätung stellt sich bei Abwicklung von 55% des startenden Verkehrs über Startbahn 18 (davon 82% ab Startpunkt 18/N) im Mittel unter 2 Minuten ein. Damit lässt sich mit diesem Flugplan insgesamt eine mittlere Verspätung von knapp unter 3 Minuten erreichen (siehe Tabelle 7-12).

Variante 9b	mittlere Verspätung am Tag in [min/mov]		
	Anflug	Abflug	Total
	04:13	01:37	02:55

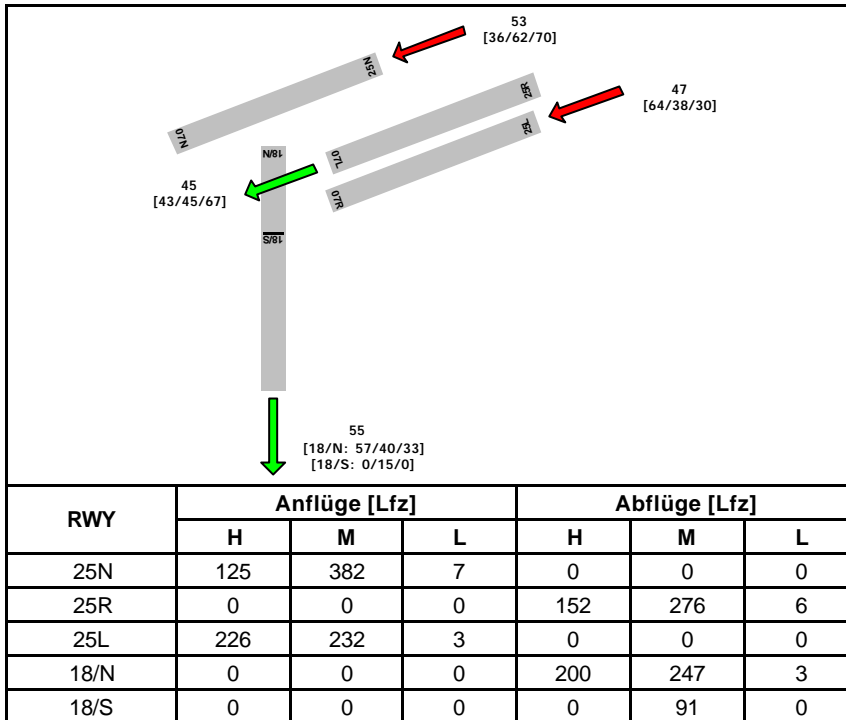


Tabelle 7-12: Ergebnisübersicht Prognoseflugplan mit Verkehrsverteilung (7)

Für Betriebsrichtung 07 werden mit dem Prognoseflugplan und Verkehrsverteilung (8) im Anflug im Mittel mit ca. 4.5 Minuten leicht höhere Verspätungen als bei Betriebsrichtung 25 erreicht.

Für die Abflüge zeigt sich, dass die Verlegung von Bahn 18 Starts vom Startpunkt 18/N auf Startpunkt 18/C, welche die sonst benötigte Blockierdistanz von 4 NM gegenüber Landungen auf Bahn 07R auf 1,5 NM reduziert und zusätzlich die Beachtung von Wirbelschleppenstaffelung nach Landungen auf 07R entbehrlich macht, eine sehr gute mittlere Abflugverspätung von unter 2 Minuten ermöglicht. Mit knapp über 3 Minuten mittlerer Gesamtverspätung erreicht der Prognoseflugplan mit dieser Verkehrsverteilung damit insgesamt ein sehr günstiges Verspätungsniveau (siehe Tabelle 7-13).

Variante 9b	mittlere Verspätung am Tag in [min/mov]		
	Anflug	Abflug	Total
	04:27	01:46	03:07

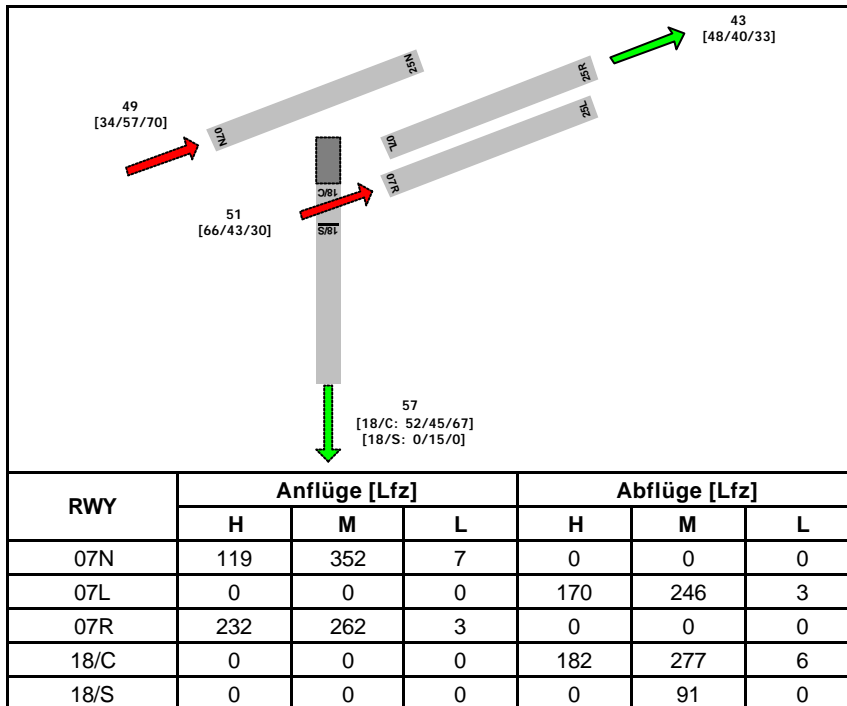


Tabelle 7-13: Ergebnisübersicht Prognoseflugplan mit Verkehrsverteilung (8)

Die aus den zugehörigen theoretischen Flugplänen abgeleiteten praktischen 4 Minuten-Kapazitätswerte für Anflüge zeigen mit 61 bzw. 60 Bewegungen pro Stunde in beiden Betriebsrichtungen - bei noch höheren praktischen Kapazitätswerten für Abflüge - dass 120 Bewegungen pro Stunde sicher erreicht werden können. Die Abflugverspätungen erreichen für beide Betriebsrichtungen erst bei 79 Abflügen ein Verspätungsniveau von 4 Minuten. Dies zeigt für die angenommene Verkehrsverteilung, dass für diese Variante eine gute Entkopplung zwischen An- und Abflügen erreicht werden konnte. Dementsprechend werden für die Gesamtbewegungen in Betriebsrichtung 25 mittlere Verspätungen von 4 Minuten erst bei gleicher An- und Abflugnachfrage zwischen 65 und 66 Bewegungen erhalten. Geringere Abflugverspätungen kompensieren damit in der Verspätungsbilanz der Gesamtbewegungen die Anflugverspätungen über 4 Minuten (siehe Tabelle 7-14).

In Betriebsrichtung 07 sorgt die um eine Bewegung niedrigere Anflugkapazität für ein Passieren der 4 Minuten Gesamtverspätung schon bei einer An-/Abflugnachfrage zwischen 63 und 64 Bewegungen (siehe Tabelle 7-15).

Diese Variante kann für beide Betriebsrichtungen sicher 120 Bewegungen pro Stunde zu akzeptablen Verspätungen bewältigen.

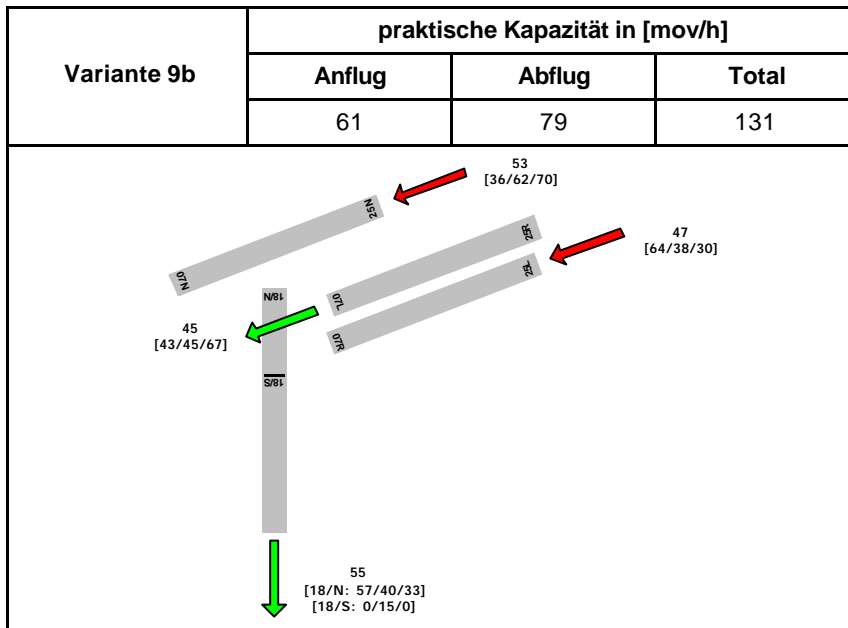


Tabelle 7-14: Ergebnisübersicht theoretische Verkehrsbeispiele mit Verkehrsverteilung (7)

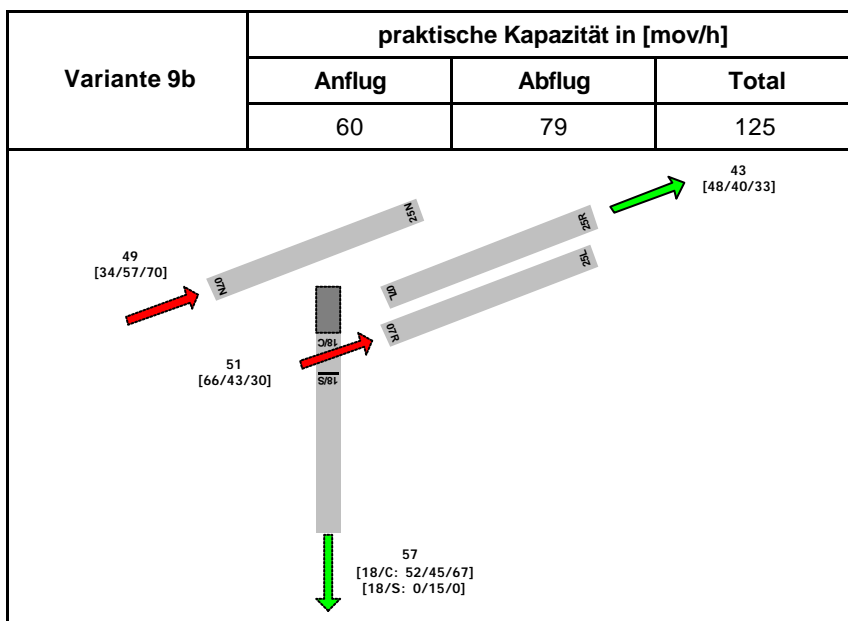


Tabelle 7-15: Ergebnisübersicht theoretische Verkehrsbeispiele mit Verkehrsverteilung (8)

8. Ergebniszusammenfassung

In der vorliegenden Studie wurden aufgrund eines vorgegebenen Prognoseflugplans die Ausbauvarianten

- **Variante Start- und Landebahn Süd mit Startbahn 18 (3)** – zusätzliche Start- und Landebahn im Süden mit Achsabstand 1925 m von RWY 25L/07R
- **Variante Landebahn Nordost (9a)** – zusätzliche Landebahn im Nordosten mit Achsabstand 1800 m von RWY 25R/07L
- **Vorzugsvariante Landebahn Nordwest (9b)** - zusätzliche Landebahn im Nordwesten mit Achsabstand 1400 m von RWY 25R/07L

bezüglich ihrer Bahnkapazität untersucht.

Die Untersuchung umfasste die Start/Landebahnkapazität ohne Luftraum- und Rollverkehrsaspekte. Dabei war für jede Variante zu klären, welche mittleren Verspätungen pro Flugbewegung bei Vorgabe prognostizierter Flugpläne eines Tages allein durch die Bahnkonfiguration zu erwarten wäre.

Des Weiteren wurde auf der Basis der gemittelten Eigenschaften des Prognoseflugplans die zugehörige stündliche praktische Kapazitätskennzahl mit einem mittleren Verspätungsniveau von 4 Minuten bestimmt.

Nachdem zunächst die Bahnkonfiguration mit ihren betrieblichen Parametern in die Struktur des Schnellzeitsimulationsmodells „Simmod PLUS!“ übertragen wurde, konnte für den vorliegenden Prognoseflugplan die Verkehrsabwicklung eines Tages simuliert werden. Dabei wurde den Anflügen immer Priorität gegenüber den Abflügen eingeräumt. Beide betrachteten Nordbahnvarianten sind bezüglich der Bahnstaffelungsparameter und Start/Landebahnnutzungsstrategie äquivalent. Bei gleichen Tagesflugplänen sind deshalb keine Unterschiede in den Simulationsergebnissen zu erwarten.

Aus den resultierenden Start- und Landezeiten wurden die Verspätungen gegenüber den im Prognoseflugplan aufgeführten Planzeiten für Starts und Landungen bestimmt. Die damit erhaltenen mittleren Verspätungen über den simulierten Tag wurden separat für Anflüge, Abflüge und die Gesamtbewegungen bestimmt.

Zur Bewertung der erhaltenen Ergebnisse werden dabei in dieser Studie mittlere Verspätungswerte von 4-5 Minuten als akzeptables Niveau angenommen. Verspätungswerte unter diesem Niveau sind aber zu bevorzugen, weil die hier nicht betrachteten Verspätungen aus Luftraum und Rollbahnsystem möglicherweise noch zu einer Erhöhung des Verspätungsniveaus beitragen könnten. Bei zunehmendem mittleren Verspätungsniveau würde dagegen der Anteil der Luftfahrzeuge, welche die Unpünktlichkeitsschranke von 15 Minuten Verspätung übersteigen, steigen. *Mittlere Verspätungswerte* von über 15 Minuten pro Flugbewegung sind deshalb weder für Anflüge noch für Abflüge akzeptabel.

Eine Übersicht der ermittelten Werte für Anflug-, Abflug und Gesamtverspätung gibt Tabelle 8-1. Die berechneten Abflugverspätungen gelten ausschließlich für die angegebene Verteilung der Abflüge RWY 18 von den entsprechenden Startpunkten 18/N, 18/C und 18/S.

Verkehrsverteilung		Nutzung RWY 18	mittlere Verspätung am Tag		
			[min/mov]		
			Anflug	Abflug	Total
(1)	Anflug: 64% 25L, 36% 25S Abflug: 45% 25R, 24% 25S, 31% 18	100 % ab TWY N	23:45	04:46	14:16
(3)	Anflug: 55% 25L, 45% 25S Abflug: 50% 25R, 5% 25S, 45% 18	100 % ab TWY C	04:48	03:08	03:58
(4)	Anflug: 54% 07L, 46% 07S Abflug: 52% 07R, 31% 07S, 17% 18	100 % ab TWY C	04:50	08:09	06:30
(5)	Anflug: 53% 25N, 47% 25L Abflug: 45% 25R, 55% 18	18 % ab TWY S, 82 % ab TWY N	04:13	01:37	02:55
(6)	Anflug: 49% 07N, 51% 07R Abflug: 43% 07L, 57% 18	18 % ab TWY S, 82 % ab TWY C	04:27	01:46	03:07
(7)	Anflug: 53% 25N, 47% 25L Abflug: 45% 25R, 55% 18	18 % ab TWY S, 82 % ab TWY N	04:13	01:37	02:55
(8)	Anflug: 49% 07N, 51% 07R Abflug: 43% 07L, 57% 18	18 % ab TWY S, 82 % ab TWY C	04:27	01:46	03:07
Variante Start- und Landebahn Süd mit Startbahn 18, BR 25, ursprüngliche Vorgabe ⇒ (1) Variante Start- und Landebahn Süd mit Startbahn 18, BR 25, überarbeitete Vorgabe ⇒ (3) Variante Start- und Landebahn Süd mit Startbahn 18, BR 07, überarbeitete Vorgabe ⇒ (4) Variante Landebahn Nordost, BR 25 ⇒ (5) Variante Landebahn Nordost, BR 07 ⇒ (6) Vorzugsvariante Landebahn Nordwest, BR 25 ⇒ (7) Vorzugsvariante Landebahn Nordwest, BR 07 ⇒ (8)					

Tabelle 8-1: Übersicht Verspätungen aus Simulationen des Prognoseflugplans mit variantenspezifischen Verkehrsverteilungen

Zur Bestimmung der praktischen Kapazitäten wurden Simulationen mit theoretischen Verkehrsbeispielen durchgeführt. Die theoretischen Verkehrsbeispiele erzeugen eine, in der Höhe wählbare, synthetische, über 24 Stunden konstante Verkehrsnachfrage bei gleicher Anzahl von An- und Abflügen. Nachfragerrelevante Parameter wie Verkehrszusammensetzung und Verkehrsverteilung auf die Bahnen werden hierbei mit dem Tagesmittelwert des Prognoseflugplans in die 24 aufeinanderfolgenden Stunden jedes theoretischen Verkehrsbeispiels übertragen.

Die praktischen 4-Minuten-Kapazitäten wurden dadurch bestimmt, dass die Verkehrsnachfrage in den theoretischen Verkehrsbeispielen solange variiert wurde, bis sich ein mittleres Verspätungsniveau von 4 Minuten in den Simulationen ergab. Verwendet wurde dabei dasselbe Simulationsmodell, wie für die Simulationen des Prognoseflugplans.

Damit sollte überprüft werden, welche der Varianten unter der Bahnnutzungsstrategie der vorgegebenen Prognoseflugpläne in jeder Betriebsrichtung mindestens eine stündliche praktische Kapazitätskennzahl von 120 Flugbewegungen pro Stunde aufweist.

Für An- und Abflugkapazitätskennzahlen deutlich unter 60 Flugbewegungen pro Stunde ist ein stabiler Betrieb mit insgesamt 120 Flugbewegungen pro Stunde unter den hier angenommenen Randbedingungen nicht anzusetzen. Höhere Werte sind zu bevorzugen, da möglicherweise noch kapazitätsmindernde Effekte durch den hier nicht betrachteten Luftraum und das Rollbahnsystem auftreten können.

Tabelle 8-2 enthält die erhaltenen praktischen Bahnkapazitätskennzahlen. Die berechneten praktischen Abflugkapazitätswerte gelten ausschließlich für die angegebene Verteilung der Abflüge RWY 18 von den entsprechenden Startpunkten 18/N, 18/C und 18/S.

	Variante	praktische Bahnkapazität [mov/h]							
		Betriebsrichtung 07				Betriebsrichtung 25			
		Basis	Anflug	Abflug	Total	Basis	Anflug	Abflug	Total
(a)	Nordost	(6)	60	79	125	(5)	61	79	131
(b)	Nordwest	(8)	60	79	125	(7)	61	79	131
(c)	Süd	(2)	51	50	101	(1)	51	71	103
(d)	Süd	(4)	58	54	111	(3)	58	66	120

Basis: Nummer der entsprechenden Verkehrsverteilung auf deren Grundlage Verkehrsbeispiele erzeugt wurden

Nutzung RWY 18:
 (a): BR 07: 18 % ab TWY S, 82 % ab TWY C; BR 25: 18 % ab TWY S, 82 % ab TWY N
 (b): BR 07: 18 % ab TWY S, 82 % ab TWY C; BR 25: 18 % ab TWY S, 82 % ab TWY N
 (c): 18 % ab TWY S, 82 % ab TWY C
 (d): 100 % ab TWY C

Tabelle 8-2: Übersicht praktische Kapazität aus Simulationen mit theoretischen Verkehrsbeispielen

Zusammenfassend lassen sich folgende Kernaussagen ableiten:

- Vorzugsvariante Landebahn Nordwest und Variante Landebahn Nordost weisen bei gleicher Verkehrsverteilung bezüglich mittlerer Verspätung und Bahnkapazität identische Werte auf.
- Sowohl die mittleren Gesamt- als auch An- und Abflugverspätungswerte des Prognoseflugplans liegen bei Vorzugsvariante Landebahn Nordwest und Variante Landebahn Nordost in beiden Betriebsrichtungen in einem akzeptablen Bereich.
- Sowohl Vorzugsvariante Landebahn Nordwest als auch Variante Landebahn Nordost erreichen in beiden Betriebsrichtungen eine praktische Gesamtkapazität von mehr als 120 Bewegungen pro Stunde.
- In Variante Start- und Landebahn Süd mit Startbahn 18 erreicht eine ursprünglich verwendete Verkehrsverteilung eine inakzeptable mittlere Anflugverspätung. Die Simulation mit den zugehörigen theoretischen Verkehrsbeispielen verfehlt den Zielwert von 120 Bewegungen pro Stunde deutlich.
- Eine überarbeitete Verkehrsverteilung zu Variante Start- und Landebahn Süd mit Startbahn 18 erreicht in Betriebsrichtung 25 für Anflug, Abflug und Gesamtbewegungen akzeptable

Verspätungswerte. Die für Betriebsrichtung 07 ermittelte Gesamtverspätung ist auf die deutlich erhöhte Abflugverspätung zurückzuführen.

- Die Simulation zu Variante Start- und Landebahn Süd mit Startbahn 18 mit den zugehörigen theoretischen Verkehrsbeispielen erreicht in Betriebsrichtung 25 den Zielwert von 120 Bewegungen pro Stunde. In Betriebsrichtung 07 wird der Zielwert von 120 Bewegungen pro Stunde, trotz der deutlichen Verbesserung gegenüber den ursprünglichen theoretischen Verkehrsbeispielen, nicht erreicht.

Allein die Varianten Landebahn Nordwest und Landebahn Nordost gewährleisten somit bei den hier vorgegebenen Verkehrsverteilungen des Prognoseflugplans die Erreichung des Kapazitätsziels in beiden Betriebsrichtungen.

9. Literaturverzeichnis

- Brokof, U.,
Knabe, F.,
Schenk, H.-D.,
Zenz, H.-P.
[Radardaten]
- Erfassung und Auswertung von Radardaten am Flughafen Frankfurt für Kapazitätsuntersuchungen
DLR IB 112 – 91/29
DLR Institut für Flugführung
Braunschweig, August 1991
- Credeur, L.
Capron, W. R.
[Timer]
- A DESCRIPTION AND SIMULATION EVALUATION OF „TIMER“ –
A TIME-BASED TERMINAL FLOW CONTROL CONCEPT
veröffentlicht in: „ATC 2000“, Eurocontrol Seminar, Volume 2
Luxemburg, Februar 1988
- DFS
[BA FVK]
- BA FVK
Betriebsanweisung für die Flugverkehrskontrolle
Deutsche Flugsicherung GmbH
Offenbach, 01.08.1999
- DFS
[BAO FVK 28/96]
- FMF2
BAO FVK 28/96
BAO FDB 18/96
Platzkontrollverfahren Frankfurt
Deutsche Flugsicherung GmbH
Frankfurt, 15.08.1997
- FAA/ATAC
[FAA96]
- SIMMOD Documentation
DTFA01-93-C-00078
Washington, 1996
- Holladay, R. J.
[FAA_1]
- An Investigation of the present and potential future Capacity of Frankfurt am Main International Airport
Flughafen Frankfurt Main AG / FAA
DOT/FAA/CT_99/21
Atlantic City, Juli 1999
- Holladay, R. J.
[FAA_2]
- An Investigation of the present and potential future Capacity of Frankfurt am Main International Airport – Technical Appendix –
Flughafen Frankfurt Main AG / FAA
DOT/FAA/CT_99/21
Atlantic City, Juli 1999
- Lee, D. A.,
Kostiuk, P. F.,
Hemm, R. V.,
Wingrove III, Earl R.,
Shapiro, G.
[Terminal]
- Estimating the Effects of the Terminal Area Productivity Program
NASA Contractor Report 201682
Logistics Management Institute, Mc Lean, Virginia
Hampton, April 1997
- Schesky, E.
[Flugleistungen]
- Skriptum zur Vorlesung „Fahrzeugeinsatz / Flugleistungen“
TU Dresden, Institut für Luftfahrt
Dresden, April – Juli 1996

Westenburger, F. [Staffelungen]	ATC-Separations Variante 3/13 i DFS FMF/B Frankfurt, 23.03.2000
Westenburger, F. [Staffelungen_1]	Staffelungsmatrizen vom 23.03.2000 – Fax vom 11.04.2000 DFS FMF/B Frankfurt, 11.04.2000
Westenburger, F. / Lorenz, S. [Staffelungen_2]	Anmerkungen zu den Staffelungsmatrizen vom 23.03.2000 – Fax vom 26.07.2000 – Abstimmung zwischen DFS und DLR DFS / DLR Frankfurt / Braunschweig, Juli 2000

10. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4-1: Längsstaffelung im Endanflug.....	4-2
Abbildung 4-2: Zeitstaffelung Anflug RWY 07S vor Abflug RWY 18	4-4
Abbildung 4-3: Zeitstaffelung zweier Abflüge am Beispiel von RWY 07R	4-5
Abbildung 4-4: Blockierdistanzen Abflug RWY 25S / Anflug RWY 25S.....	4-7
Abbildung 4-5: Blockierdistanzen Abflug / Anflug - Anflug 07S vor Abflug 18	4-8
Abbildung 4-6: Typischer Tagesgang des Prognoseflugplans	4-13
Abbildung 4-7: Typischer Tagesgang eines theoretischen Verkehrsbeispiels	4-16
Abbildung 6-1: Bestimmung der praktischen Kapazität aus theoretischen Verkehrsbeispielen	6-2
Abbildung 7-1: Legende zu den Ergebnisübersichten	7-1

11. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Übersicht Verspätungen aus Simulationen des Prognoseflugplans mit variantenspezifischen Verkehrsverteilungen.....	1-1
Tabelle 1-2: Übersicht praktische Kapazität aus Simulationen mit theoretischen Verkehrsbeispielen	1-2
Tabelle 4-1: Zeit zwischen Beginn des Startlaufes und Passieren der verlängerten Bahnachse der jeweils kreuzenden Bahn.....	4-6
Tabelle 4-2: Zeit zwischen Beginn des Startlaufes und Passieren bestimmter Punkte.....	4-12
Tabelle 4-3: Bewegungen Verkehrsverteilung (1)	4-14
Tabelle 4-4: Bewegungen Verkehrsverteilung (2)	4-14
Tabelle 4-5: Bewegungen Verkehrsverteilung (3)	4-14
Tabelle 4-6: Bewegungen Verkehrsverteilung (4)	4-15
Tabelle 4-7: Bewegungen Verkehrsverteilungen (5) und (7).....	4-15
Tabelle 4-8: Bewegungen Verkehrsverteilungen (6) und (8).....	4-15
Tabelle 7-1: Ergebnisübersicht Prognoseflugplan mit Verkehrsverteilung (1).....	7-2
Tabelle 7-2: Ergebnisübersicht Prognoseflugplan mit Verkehrsverteilung (3).....	7-3
Tabelle 7-3: Ergebnisübersicht Prognoseflugplan mit Verkehrsverteilung (4).....	7-3
Tabelle 7-4: Ergebnisübersicht theoretische Verkehrsbeispiele mit Verkehrsverteilung (3).....	7-4
Tabelle 7-5: Ergebnisübersicht theoretische Verkehrsbeispiele mit Verkehrsverteilung (4).....	7-4
Tabelle 7-6: Ergebnisübersicht theoretische Verkehrsbeispiele mit Verkehrsverteilung (1).....	7-5
Tabelle 7-7: Ergebnisübersicht theoretische Verkehrsbeispiele mit Verkehrsverteilung (2).....	7-5
Tabelle 7-8: Ergebnisübersicht Prognoseflugplan mit Verkehrsverteilung (5).....	7-6
Tabelle 7-9: Ergebnisübersicht Prognoseflugplan mit Verkehrsverteilung (6).....	7-7
Tabelle 7-10: Ergebnisübersicht theoretische Verkehrsbeispiele mit Verkehrsverteilung (5).....	7-8
Tabelle 7-11: Ergebnisübersicht theoretische Verkehrsbeispiele mit Verkehrsverteilung (6).....	7-9
Tabelle 7-12: Ergebnisübersicht Prognoseflugplan mit Verkehrsverteilung (7).....	7-10
Tabelle 7-13: Ergebnisübersicht Prognoseflugplan mit Verkehrsverteilung (8).....	7-11
Tabelle 7-14: Ergebnisübersicht theoretische Verkehrsbeispiele mit Verkehrsverteilung (7).....	7-12

Tabelle 7-15: Ergebnisübersicht theoretische Verkehrsbeispiele mit Verkehrsverteilung (8)	7-12
Tabelle 8-1: Übersicht Verspätungen aus Simulationen des Prognoseflugplans mit variantenspezifischen Verkehrsverteilungen.....	8-2
Tabelle 8-2: Übersicht praktische Kapazität aus Simulationen mit theoretischen Verkehrsbeispielen	8-3
Tabelle 12-1: Anflug – Anflug – Staffellungen in NM	12-2
Tabelle 12-2: Anflug – Abflug – Staffellungen in s.....	12-3
Tabelle 12-3: Abflug – Anflug – Staffellungen in NM	12-4
Tabelle 12-4: Abflug – Abflug – Staffellungen in s.....	12-5

12. Anhang A – Staffelungsmatrizen

LEAD (pre)	25N			25R			25L			25S			18			ARRIVAL 18 - TWY C			18 - TWY S			07N			07L			07R			07S														
	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L									
25N	4.0	5.0	6.0																																										
25R				4.0	5.0	6.0	4.0	5.0	6.0	4.0	5.0	6.0																																	
25L				2.5	2.5	5.0	2.5	2.5	5.0	2.5	2.5	5.0																																	
25S				2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	4.0	5.0	6.0	4.0	5.0	6.0																											
18													2.5	2.5	5.0	2.5	2.5	5.0																											
18 - TWY C																																													
18 - TWY S																																													
07N																									4.0	5.0	6.0																		
07L																									2.5	2.5	5.0	4.0	5.0	6.0	4.0	5.0	6.0	4.0	5.0	6.0									
07R																									2.5	2.5	5.0	2.5	2.5	5.0	2.5	2.5	5.0	2.5	2.5	5.0									
07S																									2.5	2.5	5.0	2.5	2.5	5.0	2.5	2.5	5.0	2.5	2.5	5.0	4.0	5.0	6.0	2.5	2.5	5.0	2.5	2.5	5.0

Tabelle 12-1: Anflug – Anflug – Staffellungen in NM

LEAD (pre)	TRAIL (suc)			DEPARTURE												07S		
	[sec]	H	M	L	25N	25R	25L	25S	18	18-TWY C	18-TWY S	07N	07L	07R	H	M	L	
25N																		
25R																		
25L																		
25S																		
18																		
18-TWY C																		
18-TWY S																		
07N																		
07L																		
07R																		
07S																		

Tabelle 12-2: Anflug – Abflug – Staffellungen in s

DEPARTURE	TRAIL (suc)			25N			25R			25L			25S			18			ARRIVAL			07S				
	[NM]	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L	
LEAD (pre)																										
25N	H																									
	M																									
	L																									
25R	H	3.0	2.5	2.5	3.0	2.5	2.5																			
	M	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5																			
	L	2.5	2.3	2.0	2.5	2.3	2.0																			
25L	H	3.0	2.5	2.5	3.0	2.5	2.5																			
	M	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5																			
	L	2.5	2.3	2.0	2.5	2.3	2.0																			
25S	H							3.0	2.5	2.5																
	M							2.5	2.5	2.5																
	L							2.5	2.3	2.0																
18	H				1.0	1.0	1.0	3.0	3.0	3.0																
	M				1.0	1.0	1.0	3.0	3.0	3.0																
	L				1.0	1.0	1.0	3.0	3.0	3.0																
18 - TWY C	H							2.5	2.5	2.5																
	M							2.5	2.5	2.5																
	L							2.5	2.5	2.5																
18 - TWY S	H							2.0	2.0	2.0																
	M							2.0	2.0	2.0																
	L							2.0	2.0	2.0																
07N	H																									
	M																									
	L																									
07L	H																									
	M																									
	L																									
07R	H																									
	M																									
	L																									
07S	H																									
	M																									
	L																									

Tabelle 12-3: Abflug – Anflug – Staffellungen in NM

LEAD (pre)	TRAIL (suc)			DEPARTURE											
	[sec]	H	M	25N	25R	25L	25S	18	18-TWY C	18-TWY S	07N	07L	07R	07S	
25N	H														
	M														
	L														
25R	H	75	108	150	75	108	150	75	108	150					
	M	50	50	90	50	90									
	L	50	60	60	50	60									
25L	H	75	108	150	75	108	150	70	70	70					
	M	50	50	90	50	90									
	L	50	60	60	50	60									
25S	H							70	70	70					
	M							70	70	70					
	L							70	70	70					
18	H							130	160	190					
	M							50	90	70					
	L							50	60	70					
18-TWY C	H							60	60	75					
	M							60	60	60					
	L							60	60	60					
18-TWY S	H							60	45	50					
	M							45	45	50					
	L							45	45	50					
07N	H														
	M														
	L														
07L	H														
	M														
	L														
07R	H														
	M														
	L														
07S	H														
	M														
	L														

Tabelle 12-4: Abflug – Abflug – Staffellungen in s