

UNTERSUCHUNG DER ARBEITBARKEIT, DER KAPAZITÄTSEFFEKTE SOWIE DER BEANSPRUCHUNG VON FLUGLOTSSEN BEIM BETRIEB ZWEIER SCHWELLEN AUF EINER LANDEBAHN

O. Haßa¹, E. Haugg¹, M. Huhnold², A. Kulikow²

¹ DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Forschung und Entwicklung; Am DFS-Campus 5, 63225 Langen

² Fraport AG – Frankfurt Airport Services, Research and Development; 60547 Frankfurt am Main

1. EINFÜHRUNG

Die Verkehrsdichte im Luftraum Zentraleuropas zählt bereits jetzt zu den höchsten weltweit. Alle Prognosen gehen dennoch von einer weiteren Steigerung der Verkehrszahlen aus. Insbesondere im Bereich der Flughäfen befindet sich das System Luftverkehr in der Sättigung. Eine weitere Steigerung der Verkehrszahlen wird zu einer wachsenden Zahl an Verspätungen führen.

Einer der Engpässe ist die verfügbare Landekapazität. Viele deutsche und internationale Flughäfen sind deshalb mit der Notwendigkeit einer Kapazitätssteigerung konfrontiert. Eine erfolgreiche und schnelle Durchführung des damit verbundenen Infrastrukturausbaus ist oft nicht möglich, da dies einen tiefen Eingriff in die vorhandene Siedlungs- und Industrieinfrastruktur erfordert.

Auf dem Flughafen Frankfurt/M. stehen dem anfliegenden Verkehr zwei parallele Bahnen für die Landung zur Verfügung. Aufgrund des zu geringen Abstandes zwischen diesen beiden Landbahnen können diese jedoch nicht unabhängig voneinander betrieben werden und sind daher als eine einzige Landbahn zu betrachten. Die daraus resultierende große Wirbelschleppenstaffelung schränkt die Kapazität des Anflugbereichs des Flughafens und somit die gesamte Flughafenkapazität erheblich ein.

2. ZWEISCHWELLENBETRIEB

Eine Reduktion der oben aufgeführten Problematik könnte die Einführung einer zusätzlichen, versetzten Schwelle ermöglichen. Beim Anflugverfahren High Approach Landing System (HALS) wird durch die Einrichtung einer versetzten Landeschwelle ein ausreichender vertikaler Abstand zwischen den Anflugpfaden der benachbarten Parallelbahnen erzeugt, wodurch eine engere Anflugstaffelung unter Beibehaltung der hohen Sicherheitsstandards der ICAO hinsichtlich der Wirbelschleppengefahr ermöglicht wird. Ein Probebetrieb dieses Verfahrens zeigte jedoch eine im Vergleich zum konventionellen Betrieb geringere operationelle Flexibilität [3].

Im Gegensatz zum HALS-Betrieb, bei dem ausschließlich die versetzte Schwelle aktiv ist, sind beim Zweischwellenbetrieb (Dual Threshold Operations, DTOP) beide Landeschwellen gleichzeitig in Betrieb und werden angefliegen (siehe auch Bild 1). DTOP soll die Staffelungsvorteile von HALS mit der betrieblichen Flexibilität des konventionellen Betriebes verknüpfen und damit den größten Kapazitätsgewinn ermöglichen.

Vor der Einführung eines solchen Verfahrens müssen Arbeitbarkeit und Kapazitätseffekte sowohl luft- als auch bodenseitig untersucht werden.

Die im Vergleich zur ICAO-Befeuerung optisch veränderte Situation im Anflug wurde in einer vorausgehenden Studie im Hinblick auf die Fliegbarkeit, Beanspruchung und das Verhalten der Piloten bezüglich zugelassener Vergleichsszenarien evaluiert [10]. Dabei zeigte sich, dass die Landung auf der doppelt befeuerten Landebahn keine signifikante Mehrbelastung der Piloten darstellt [12, 13].

Als nächster Schritt ist es erforderlich, auch die Bodenseite zu untersuchen. Dazu wurden die Arbeitbarkeit und die Kapazitätseffekte im Flughafennahbereich Frankfurt in einer Studie evaluiert. In dieser wurden zwei Realzeit-Simulatoren (En-route/TMA- und Towersimulator) miteinander gekoppelt und eine mehrwöchige Simulation durchgeführt.

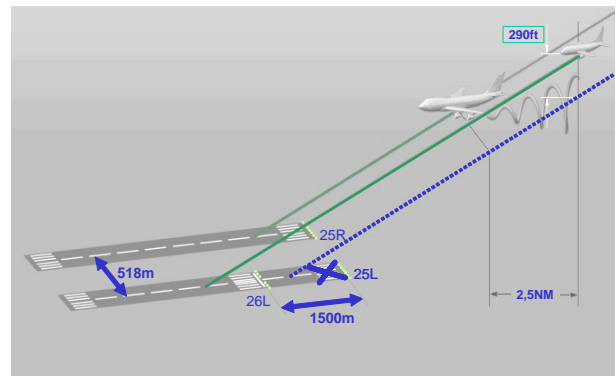


BILD 1. DTOP Verfahren

3. ZIELE DER UNTERSUCHUNG

Die Realzeitsimulation „Dual Threshold Operations am Flughafen Frankfurt am Main“ (DTOP Simulation) hatte folgende Ziele:

- 1) Untersuchung der bodenseitigen Arbeitbarkeit der entworfenen Betriebsverfahren.
- 2) Ermittlung der möglichen Kapazitätssteigerung durch ein DTOP Verfahren.

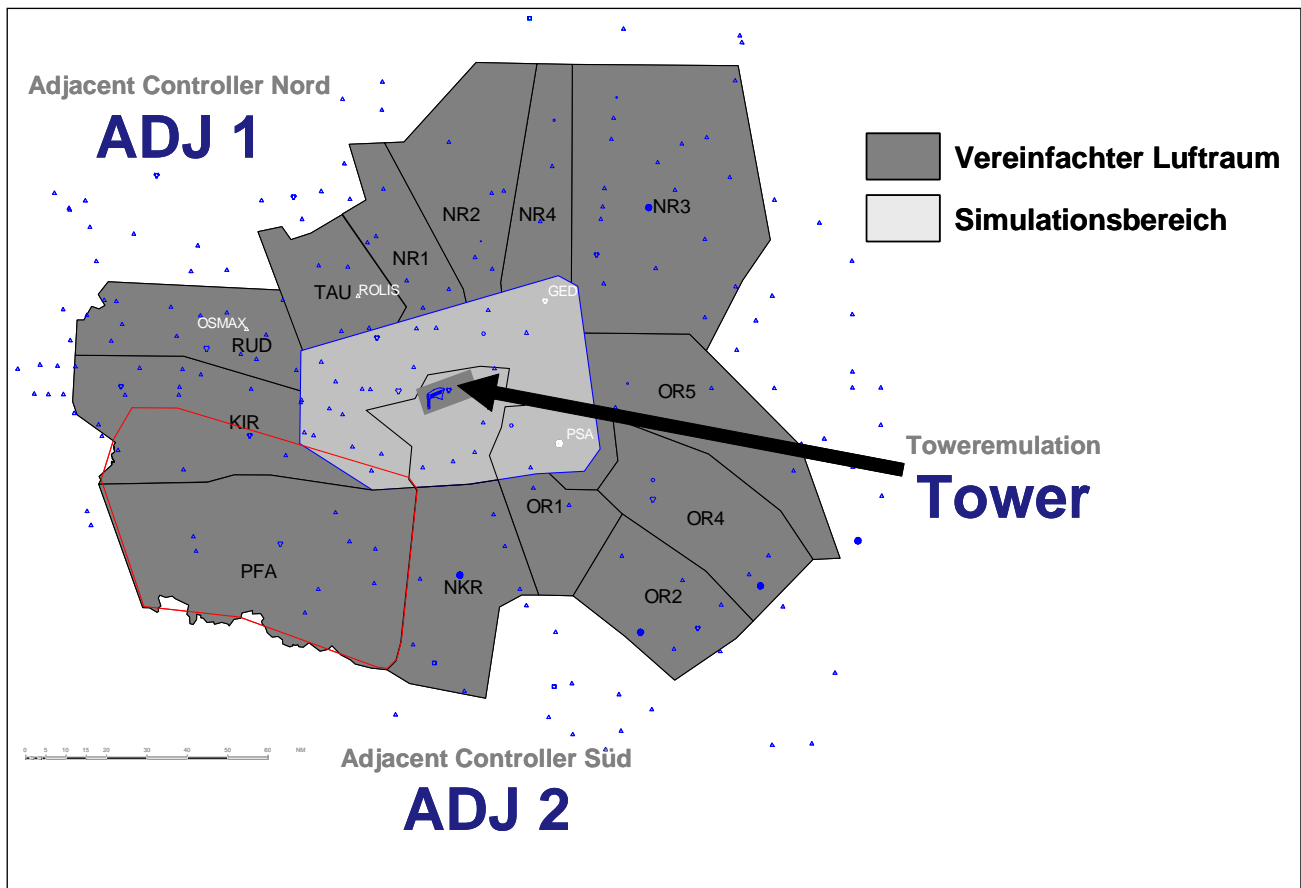


BILD 2. Simulationsluftraum

Die Untersuchung vergleicht die konventionelle Arbeitsweise ohne DTOP Verfahren mit der Arbeitsweise mit DTOP Verfahren. Dabei wurde der Schwerpunkt zunächst auf die Arbeitbarkeit gelegt, da diese Voraussetzung für eine Kapazitätssteigerung ist.

4. SIMULATIONSUMGEBUNG

4.1. Simulatoren

Um eine realitätsnahe Untersuchung zu gewährleisten, wurden zwei Realzeitsimulatoren gekoppelt. Als En-route/TMA-Simulator wurde der Advanced Function Simulator (AFS) des Bereiches Forschung und Entwicklung der DFS eingesetzt. Dieser wurde durch einen Towersimulator (TOSIM) ergänzt.

Am Towersimulator standen ein Lotsenarbeitsplatz sowie zwei Arbeitsplätze für Simulationenpiloten zur Verfügung.

Am AFS wurden die gemessenen Lotsenpositionen simuliert. Insgesamt wurden am AFS vier Lotsenarbeitsplätze, fünf Simulationenpiloten und zwei Arbeitsplätze für den umgebenden Luftraum simuliert (siehe auch Bilder 3 und 4).

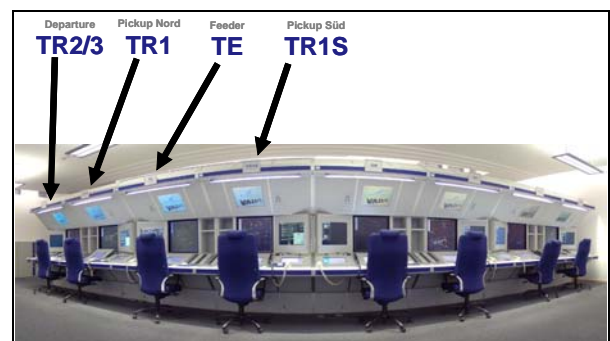


BILD 3. Lotsenarbeitsplätze am AFS

Dem Fluglotsen stand in der Simulation ein Lotsenarbeitsplatz ähnlich dem im Betrieb verwendeten Flugsicherungssystem P1 einschließlich Papierkontrollstreifen zur Verfügung (siehe Bild 3 und [4]).

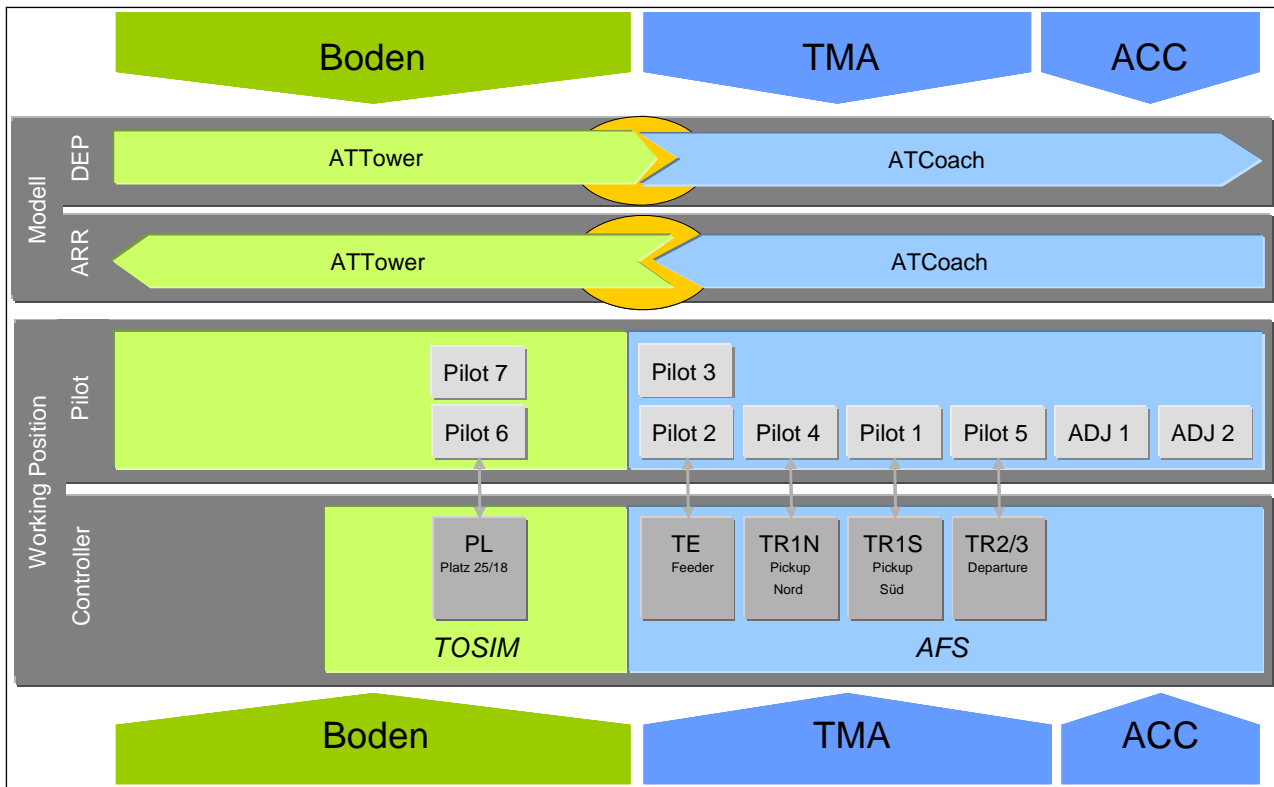


BILD 4. Simulatorkopplung AFS/TOSIM

4.2. Simulationsluftraum

Der Simulationsluftraum bestand im Wesentlichen aus dem Flughafennahbereich Frankfurt (Terminal Manoeuvring Area, TMA) (siehe Bild 2). Um die Nahtstellen der TMA realitätsnahe darstellen zu können, wurde der Flughafennahbereich durch zwei weitere, vereinfacht simulierte Bereiche ergänzt. Die TMA wurde in der Simulation von einem ringförmigen Luftraum umschlossen der automatisch kontrolliert wurde. An zwei vereinfachten Arbeitspositionen (Adjacent Controller Nord und Süd, ADJ1/2) konnte der Verkehr in diesem Bereich beeinflusst werden.

Der innerhalb der TMA liegende Zuständigkeitsbereich des Tower wurde in der Simulation durch einen an den EN-route/TMA-Simulator (Advanced Funktion Simulator, AFS) angekoppelten Towersimulator (TOSIM) vereinfacht simuliert.

Der Zuständigkeitsbereich der Anflugkontrolle Frankfurt (Frankfurt Approach, APP EDDF) beinhaltet den Luftraum C innerhalb der lateralen Grenzen der Frankfurt TMA bis zur Flugfläche FL115. Die höchste nutzbare Flugfläche ist FL110.

4.3. An- und Abflugverfahren

Für den Flughafen Frankfurt sind zwei unterschiedliche Anflugverfahren definiert: Standard Arrival Routes (STAR, Standard-Instrumenteneinflugstrecken) und Flächen navigationsverfahren (Area Navigation Procedures, RNAV) [5, 6]. Die Flächen navigationsverfahren werden allgemein als „Transition to Final Approach“ bezeichnet. Diese entsprechen dem am jeweiligen Flughafen praktizierten Radarführungsverhalten. Diese Verfahren beginnen am Übergabepunkt zwischen Strecken und Anflugkontrolle und enden am gemeinsamen Endanflugpunkt bzw. Endanflugwegpunkt der

für eine gegebene Landebahn veröffentlichten Anflugverfahren. Zusätzlich wurden optional durch den Lotsen zur Bewegungslenkung zu nutzende Wegpunkte im Gegenanflug und Endanflug definiert und stehen bordseitig durch eine Navigationsdatenbanken zur Verfügung.

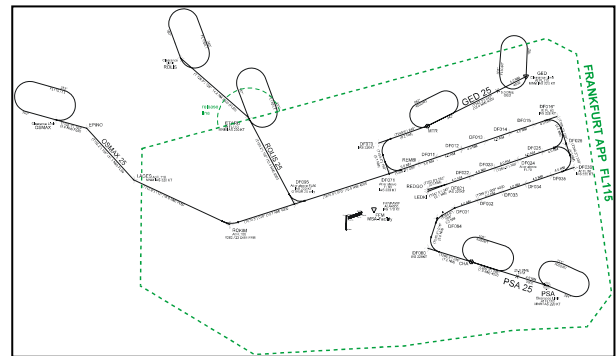


BILD 5. Transitions to Final Approach (Betriebsrichtung 25)

Durch Anwendung dieser Verfahren wird u.a. eine Reduzierung des Sprechfunkverkehrs sowie eine optimierte Flugführung im Anflugbereich ermöglicht. Das Eindrehen zum Endanflug erfolgt zur beschleunigten Verkehrsabwicklung bzw. aus Stafflungsgründen üblicherweise durch Radarführung. In der Praxis werden innerhalb des Flughafennahbereiches Frankfurt von den Fluglotsen die „Transition to Final Approach“ oder bei geringerem Verkehrsaufkommen die direkte Radarführung zum Endanflug bevorzugt.

Alle genannten Anflugverfahren beginnen an einem der vier folgenden Übergabepunkte Strecken-/Anflugkontrolle [1]:

- PSA (Spessart)
- GED (Gedern)
- ROLIS
- OSMAX

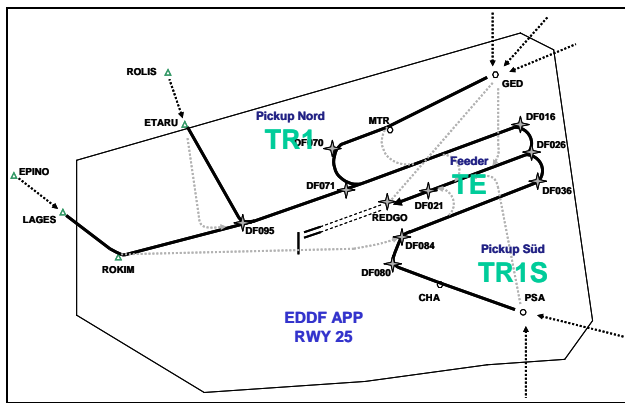


BILD 6. Anflugverfahren Frankfurt (vereinfacht)

Im Bereich der Abflüge werden in der TMA Frankfurt vom Abfluglotsen die veröffentlichten Abflugstrecken (SID, Standard Instrument Departure Route) genutzt [5, 6].

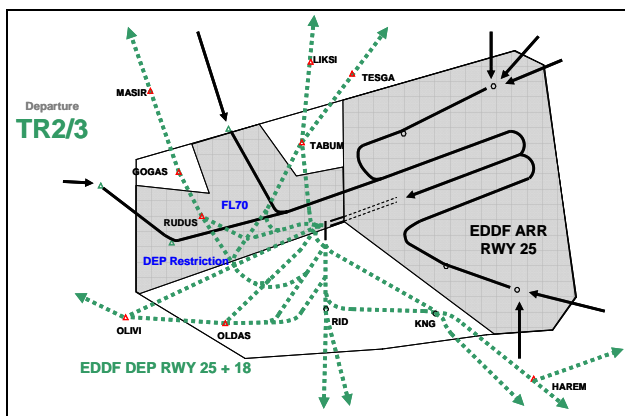


BILD 7. Abflugverfahren Frankfurt (vereinfacht)

Für das DTOP-Verfahren wurden im Rahmen der Untersuchung spezielle Anflugverfahren definiert [9]. Diese basierten auf den bestehenden konventionellen Verfahren [2, 5] und auf den Verfahren des HALS-Probebetriebes [3].

4.4. Arbeitspositionen

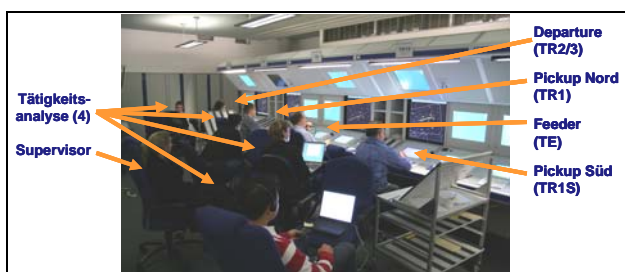


BILD 8. Arbeitspositionen in der Simulation

Simuliert wurde die TMA Frankfurt mit folgenden Arbeitspositionen:

- Pickup North (TR1N, Radaranfluglotse Nord)
- Pickup South (TR1S, Radaranfluglotse Süd)
- Feeder (TE, Radaranfluglotse „Einspeiser“)
- Departure (TR2/3, Radarabfluglotse)
- Tower (PL, Platzlotse, vereinfacht simuliert)

Hinzu kommen in vereinfachter Form die umliegenden Center Sektoren, die in die TMA hineinarbeiten:

- Adjacent Controller Nord (ADJ1)
- Adjacent Controller Süd (ADJ2)

Der Pickup North ist verantwortlich für die Anflüge über die Übergabepunkte GED, ROLIS und OSMAX. Anflüge über den Punkt PSA werden vom Pickup South kontrolliert. Beide Pickup-Lotsen übergeben die Anflüge an den Feeder. Dieser ist für das Eindrehen auf den Endanflug und den Endanflug selbst verantwortlich. Die Übergabegrenze zwischen Pickup und Feeder ist variabel und unter anderem von der jeweiligen Verkehrssituation abhängig. Vom Feeder werden die Luftfahrzeuge anschließend an den Platzlotsen übergeben.

Abflüge aus Frankfurt werden von den Abfluglotsen TR2 (Abflüge nach Süden) und TR3 (Abflüge nach Norden) kontrolliert. Wie in der Praxis auch, wurden in der Simulation beide Bereiche von einem kombinierten Arbeitsplatz (TR2/3) aus kontrolliert.

4.5. Verkehrsbeispiele

Um einen hohen Realitätsgrad zu gewährleisten, wurden die Verkehrsbeispiele anhand von Aufzeichnungen realen Luftverkehrs zusammengestellt. Jeder Simulationslauf hatte eine Dauer von 90 Minuten. Davon dienten die ersten 15 Minuten als Vorlaufzeit, um den Verkehr in die TMA einfliegen zu lassen. Die folgenden 60 Minuten waren die eigentliche Messzeit, die später ausgewertet wurde. Die letzten 15 Minuten des Szenarios dienten als Puffer.

Die Szenarien beinhalteten An- und Abflüge Frankfurt inklusive Abflüge von der Startbahn 18 (West). Die Simulation beinhaltete darüber hinaus folgende Randbedingungen:

- Betriebsrichtung: BR25
- Kein Wind
- Standard-Luftdruck
- Meteorologische Sicht: 4000m
- Hauptwolkenuntergrenze: 400ft

5. EXPERIMENTELLES DESIGN

In der Simulation wurden zwei zentrale Ziele untersucht [8]. Das erste Ziel war die Untersuchung der Arbeitbarkeit des DTOP Verfahrens. Das zweite Ziel war die Untersuchung möglicher Auswirkungen des DTOP Verfahrens auf die luftseitige Flughafenkapazität im Fall einer grundsätzlichen Arbeitbarkeit des Verfahrens.

Die Durchführung der Simulation orientiert sich in der inhaltlichen Gliederung an den vom EU Projekt MAEVA¹ gesetzten Standards für Realzeitsimulationen [11].

¹ Projekt „Master ATM European Validation Plan“, gefördert von der Europäischen Kommission, DG TREN, im 5. Rahmenprogramm (www.maeva.isdefe.es)

Gesamtanzahl Abflüge und Anflüge

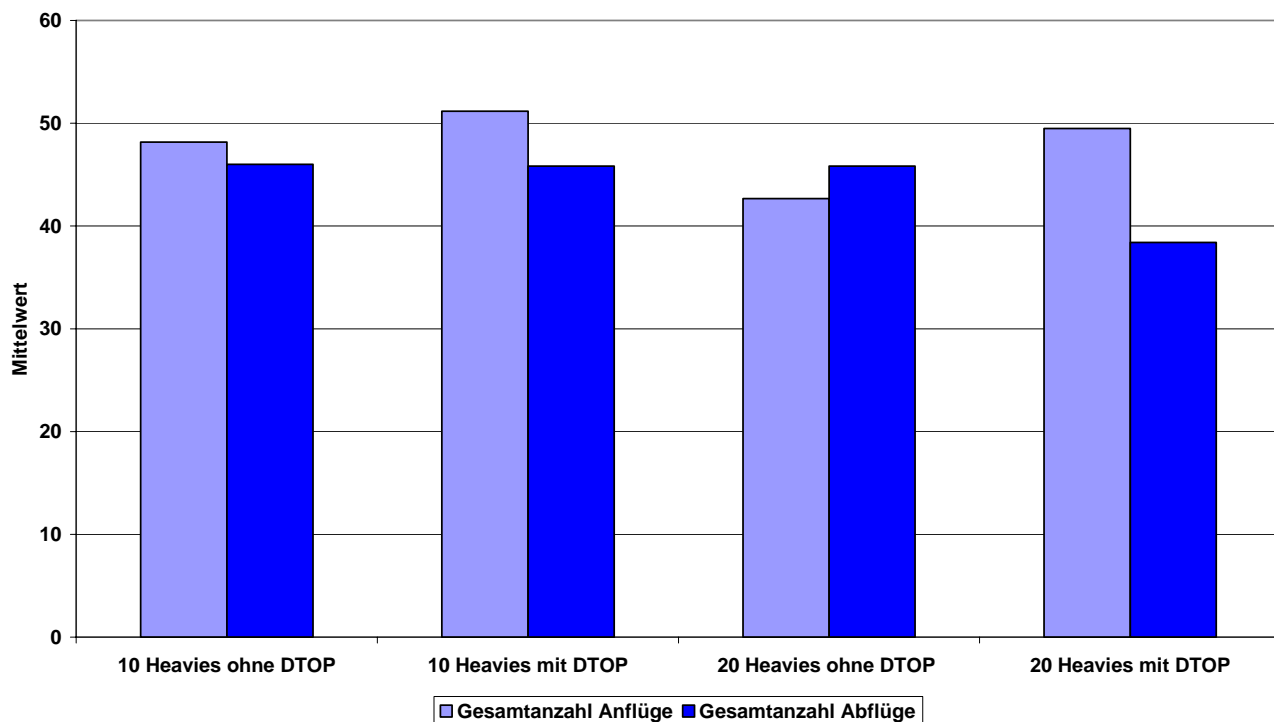


BILD 9. Gesamtanzahl Anflüge und Abflüge

In der Simulation wurden vier verschiedene Versuchsbedingungen gemessen. Dabei gab es Szenarien mit einem geringeren Anteil an Lfz. der WTC Kategorie „Heavy“, sowie Szenarien mit einem höheren Anteil an schweren Lfz. Diese Szenarien werden im Folgenden als „10 Heavies“ und „20 Heavies“ bezeichnet.

Die Gesamtanzahl der Lfz. war in beiden Szenarien gleich und entsprach einem Hochlastszenario. Alle Szenarien beinhalteten den gleichen Anteil und die gleiche Verteilung von Abflügen.

Jedes der beiden Szenarien wurde sowohl mit DTOP als auch ohne DTOP, also gemäß den aktuellen Betriebsverfahren [2, 5], bearbeitet. Insgesamt wurden vier Trainingsläufe sowie sechs gemessene Runs pro Versuchsbedingung durchgeführt. Während der Simulation wurden objektive und subjektive Daten erhoben. Zu den objektiven Daten gehörten Aufzeichnungen aus dem Simulator, beispielsweise Radarpositionsdaten, Aufzeichnungen des Funkverkehrs oder Pilotenkommandos.

Subjektive Daten wurden anhand verschiedener Fragebogen erhoben, dazu gehörten ein Demographischer Fragebogen und ein Trainingsfragebogen zu Beginn der Simulationskampagne, ein Post-Run Fragebogen nach jeder Messung und ein Abschlussfragebogen am Ende der Simulationskampagne. Weiterhin wurde während den Messungen alle 10 Minuten der NASA-TLX [7] auf dem Touch Input Device elektronisch eingeblendet und von den Teilnehmern per Fingerdruck ausgefüllt. Nach jeder Messung wurde zudem ein strukturiertes Interview durchgeführt.

Die Teilnehmer der Untersuchung waren 11 Lotsen der DFS. Darunter hatten 10 Lotsen bereits Erfahrung mit HALS gemacht. Im Durchschnitt waren die Lotsen 35,5 Jahre alt und hatten durchschnittlich 10,6 Jahre Erfahrung als Lotsen im Bereich Frankfurt Approach. Bild 8 zeigt den Aufbau der Untersuchung. An den Lotsenpositionen sind der Departurelotse, Pickup Nord, Feeder und Pickup Süd zu sehen. Hinter den Lotsen sitzen Mitarbeiter der TU Berlin, die bei der Untersuchung eine Tätigkeitsanalyse durchführten, sowie ein Beobachter der DFS.

6. ERGEBNISSE

Für die vier Versuchsbedingungen wurden jeweils die Anzahl der Anflüge und Abflüge analysiert. Bild 9 zeigt die durchschnittliche Gesamtanzahl der An- und Abflüge für die vier Versuchsbedingungen. Die Säule der Anflüge fasst hierbei die Anflüge auf die Schwellen 25L und 25R, als auch die der Schwelle 26L bei Messungen mit DTOP zusammen.

Die Säule für die Abflüge fasst die Abflüge auf den Bahnen 25R und 18 zusammen.

Die Abbildung zeigt, dass in Messungen mit „10 Heavies“ bei der Nutzung des DTOP Verfahrens mehr Lfz. zur Landung gebracht werden konnten, als bei der Arbeit mit den aktuellen Betriebsverfahren. In Messungen mit „20 Heavies“ war es ebenfalls möglich, mit Hilfe des DTOP Verfahrens mehr Lfz. zur Landung zu bringen. In den Versuchsbedingungen mit „10 Heavies“ konnten bei Nutzung des DTOP Verfahrens jedoch marginal weniger Lfz. abfliegen, als in Messungen ohne DTOP. In Runs mit „20 Heavies“ zeigte sich diese Tendenz verstärkt. Es konnte eine klare negative Auswirkung des DTOP Verfahrens auf die Abflugkapazität im Vergleich zu den Referenzmessungen ohne DTOP festgestellt werden.

Bei der Betrachtung der durchschnittlichen Gesamtanzahl der An- und Abflüge in Messungen ohne DTOP ist allerdings zu beachten, dass diese hohe Anzahl im realen Verkehr nicht erreicht wird. Der Durchsatz ist im realen Verkehr unter den gegebenen Wetterbedingungen wesentlich geringer. Trotzdem kann tendenziell mit einer erhöhten Anzahl von Anflügen bei der Nutzung des DTOP Verfahrens gerechnet werden. Auf der anderen Seite muss aber auch von einer Verringerung der Abflugkapazität bei einer hohen Anzahl an Lfz. der WTC Kategorie „Heavy“ und der Arbeit mit DTOP ausgegangen werden.

Zusätzlich zu den objektiven Daten wurde auch die subjektive Meinung der Lotsen erhoben. Bild 10 zeigt die Beurteilung des DTOP Verfahrens im Abschlussfragebogen. Die Lotsen schätzten Aussagen zur Effizienz, Flexibilität und Sicherheit des Verfahrens auf einer Skala von eins bis sechs ein (1=stimmt nicht; 6=stimmt). Die Aussagen stellen jeweils die Arbeit mit DTOP der Arbeit den aktuellen Betriebsverfahren gegenüber.

Beurteilung des DTOP Verfahrens (1= stimmt nicht, 6= stimmt)

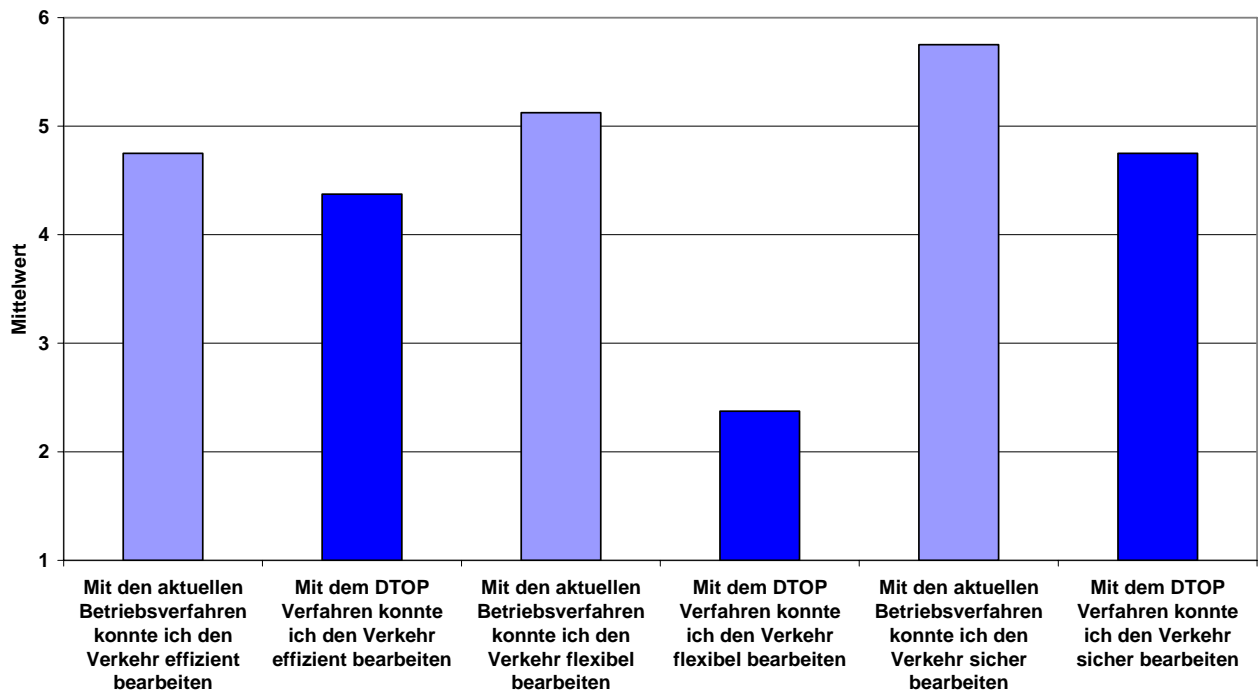


BILD 10. Beurteilung des DTOP Verfahrens

Die Grafik zeigt, dass es nach Meinung der Lotsen möglich war, sowohl mit den aktuellen Betriebsverfahren, als auch mit dem DTOP Verfahren effizient zu arbeiten. Bezüglich der Flexibilität wurde das DTOP Verfahren wesentlich schlechter bewertet als die aktuellen Betriebsverfahren, obwohl das DTOP Verfahren dem Lotsen theoretisch mehr Optionen bietet (25L, 26L, and 25R). Grund für die geringe Flexibilität bei der Arbeit mit dem DTOP Verfahren ist die Tatsache, dass bei einer Abweichung von der für das DTOP Verfahren aufgebauten Sequenz, beispielsweise durch einen Go-Around, die gesamte Sequenz neu aufgebaut werden muss. Dies ist bei der Anwendung von DTOP aufwändiger als bei Standardverfahren, da eine optimale Sequenz für DTOP Anflüge mit den verschiedenen Staffelungsabständen wiederhergestellt werden muss. Insgesamt führte dies zu einer erhöhten Belastung und Beanspruchung. Das DTOP Verfahren wurde von den Lotsen auch als weniger sicher eingeschätzt als die aktuellen Betriebsverfahren. Trotzdem lag die Einschätzung über dem Mittelwert. Bei der Betrachtung der auf Bild 10 dargestellten Ergebnisse muss allerdings beachtet werden, dass die Einschätzungen der Lotsen für alle Aussagen, außer bezüglich der Sicherheit, sehr heterogen waren. Die Bilder 11 und 12 illustrieren beispielhaft die Flugspuren der An- und Abflüge bei beiden DTOP-Bedingungen (10 Heavy und 20 Heavy).

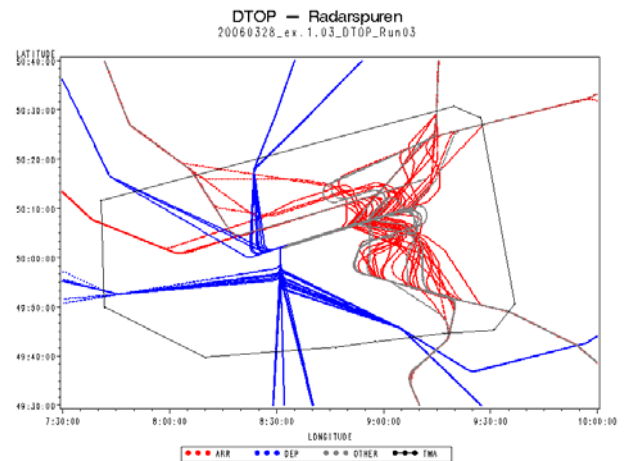


BILD 11. An- und Abflugspuren „20 Heavy“ (Beispiel)

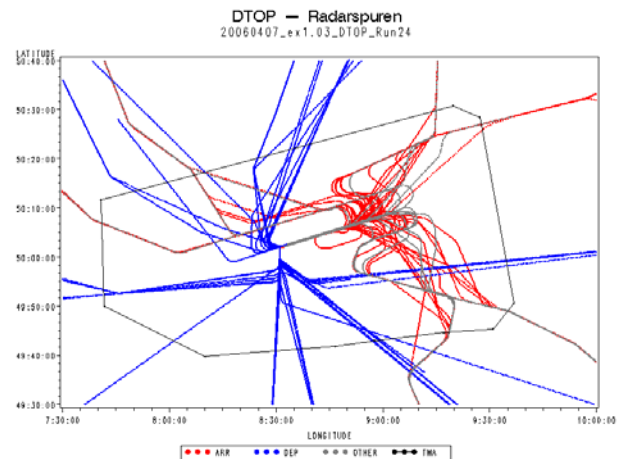


BILD 12. An- und Abflugspuren „10 Heavy“ (Beispiel)

7. FAZIT

In Zusammenhang mit den Zielen der Untersuchung kann zusammengefasst werden, dass das DTOP-Verfahren unter den gegebenen Versuchsbedingungen grundsätzlich arbeitbar war. Damit kann nach der Feststellung der luftseitigen Arbeitbarkeit in den vorausgegangenen Untersuchungen [10, 12, 13] dem Verfahren auch eine bodenseitige Arbeitbarkeit attestiert werden. Weiterhin konnte eine positive Tendenz bezüglich der Anzahl der Anflüge, aber auch eine negative Auswirkung auf die Abflugkapazität, insbesondere bei einem hohen Anteil von Luftfahrzeugen der WTC Heavy, bei der Anwendung des DTOP Verfahrens beobachtet werden.

8. LITERATUR

- [1] Deutsche Flugsicherung GmbH, DFS: *"Betriebsanordnung CC/F-ML"* Zusammenarbeit Frankfurt APP-ACC, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Langen, Germany, 2001
- [2] Deutsche Flugsicherung GmbH, DFS: *"Manual of Operations Air Traffic Control Services"* Betriebsanweisung Flugverkehrskontrolle English, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Langen, Germany, 2003, BA-FVK
- [3] Deutsche Flugsicherung GmbH, DFS: *"Betriebsanordnung FVK 12/2004 – Probetrieb HALS Stufe 2 mit GPM"*, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Langen, Germany, 2004
- [4] Deutsche Flugsicherung GmbH, DFS: *"Controller Working Position (CWP-1) Operational Manual for P1 Air Traffic Control Automation System (AT-CAS)"*, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Langen, Germany, 2004, Release 2.1-6
- [5] Deutsche Flugsicherung GmbH, DFS: *"Betriebsanordnung CC/F-M FVK 61/2005 Verfahren für IFR An- und Abflüge"*, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Langen, Germany, 2005
- [6] Deutsche Flugsicherung GmbH, DFS: *"Aeronautical Information Publication, AIP Germany"* DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Langen, Germany, 2006
- [7] Hart, S.G., Staveland, L.E.: *"Development of a NASA TLX (NASA Task Load Index): Results of empirical and theoretical research"*, In P.A. Hancock and N. Meshkati (Hrsg.), Human Mental Workload, Amsterdam, 1988.
- [8] Haßa, O., Haugg E. : *"DTOP Realzeitsimulation - Untersuchungskonzept"* DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Langen, Germany, 2005
- [9] Haßa, O. : *"DTOP Realzeitsimulation – DTOP Verfahren in der Simulation"* DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Langen, Germany, 2006
- [10] Kolrep, H. et al.: *"Zweischwellenbetrieb am Flughafen Frankfurt/M. – Simulatorstudie zur Arbeitssituation im Cockpit"*, Beitrag DGLR-Symposium Nachbar Flughafen, Bremen, 2004
- [11] „Master ATM European Validation Plan (MAEVA)-Validation Guidance Handbook (VGH)“, Version 3.0 EUROCONTROL, April 2004
- [12] Schubert, E. et al.: *"Untersuchung der Fliegbarkeit sowie der Arbeitsbelastung von Piloten beim Betrieb zweier Landeswellen auf einer Piste"*, Beitrag DGLR-Symposium Nachbar Flughafen, Bremen, 2004
- [13] Schubert, E. et al.: *"Ergebnisse der Flugsimulatorstudie zur Untersuchung der Arbeitssituation im Cockpit beim Betrieb zweier Landeswellen auf einer Piste"*, Beitrag Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2005, Friedrichshafen, 2005