

BAHNNUTZUNGSSTRATEGIEN BEI EINEM FLUGHAFENZENTRIERTEN FLOWMANAGEMENT

E. Rehwald, P. Hecker
Technische Universität Braunschweig, Institut für Flugführung
Hermann-Blenk-Str. 27, 38108 Braunschweig, Deutschland

K. Schwentek
DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Forschung und Entwicklung
Am DFS-Campus 5, 63225 Langen, Deutschland

Zusammenfassung

Mit dem stetigen Wachstum der Hubflughäfen wird ein optimales Ausnutzen der vorhandenen Kapazität des Runwaysystems immer wichtiger. Kleinste Störungen im Betriebsablauf wirken sich nicht nur am Hubflughafen selber, sondern im gesamten europäischen Luftraum aus. Um die vorhandene Kapazität des Runwaysystems optimal ausnutzen zu können, wurde ein flughafenzentriertes Flowmanagementsystem als Cooperative Local Resource Planner (CLOU) entwickelt, das basierend auf Demand- und Kapazitätsprognosen Vorschläge für die zeitliche Abfolge von Bahnnutzungsstrategien liefert. In diesem Papier werden neben dem grundlegenden Konzept des CLOU und einer Übersicht über die einzelnen Aspekte der Bahnnutzungsstrategie auch erste Ergebnisse der betrieblichen Bewertung des Systems in Bezug auf die Bahnnutzungsstrategie beschrieben. Abschließend wird auf weiterführende Entwicklungsarbeiten am CLOU eingegangen.

1. EINLEITUNG

Die zentralen Hubflughäfen in Europa arbeiten bereits heute an ihrer Kapazitätsgrenze (vergleiche [1] und [2]) und haben sich zum Engpass im Luftverkehr entwickelt. Eine Störung im Verkehrsablauf (zum Beispiel eine Reduzierung der verfügbaren Kapazität oder eine Verschiebung im Verkehrsaufkommen) an einem Hubflughafen kann zu großen Verspätungen führen und einen erheblichen Einfluss auf die Effizienz der Verkehrsabwicklung haben. Dabei können sich die Störungen nicht nur auf den Hubflughafen negativ auswirken, sondern im gesamten europäischen Luftraum als »reactionary delay« (vergleiche [3]).

Hubflughäfen besitzen in der Regel historisch gewachsene Runwaysysteme, die untereinander komplexe Abhängigkeiten aufweisen. Diese Abhängigkeiten können zum Beispiel aus dem Mischbetrieb, aus der Luftseite oder auch aus der Flughafentopologie resultieren. Durch weiterer baulicher Maßnahmen werden die Bahnabhängigkeiten erhöht und Kapazitätsengpässe werden zumindest in Verkehrsspitzen weiter bestehen bleiben (vergleiche [9]).

Um die vorhandene Kapazität optimal ausnutzen zu können, wurde im Rahmen des Verbundvorhabens Kooperatives Air Traffic Management (K-ATM) des Luftfahrtforschungsprogramms 2003-2007 (LuFo III) der

Prototyp eines prätaktischen, flughafenzentrierten Flowmanagementsystems der Cooperative Local Resource Planner (CLOU) beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und der Technischen Universität Dresden entwickelt. Dieser Prototyp wird im Luftfahrtforschungsprogramm 2007-2012 (LuFo IV-1 und LuFo IV-2) in dem Verbundvorhaben »Wettbewerbsfähiger Flughafen« (WFF) sowie im Anschluss im Verbundvorhaben »Innovativer Airport« (iPort) durch das Institut für Flugführung der Technischen Universität Braunschweig und das Institut für Luftfahrt und Logistik mit der Professur für Verkehrsströmungslehre der Technischen Universität Dresden fortgeführt. Als Projektleitung agiert die DFS Deutsche Flugsicherung GmbH.

Basierend auf Demand- und Kapazitätsprognosen berechnet der CLOU unter anderem Vorschläge zur Bahnnutzungsstrategie. Die Demandprognose wird aus den Flugplaninformationen des STANLY_CDM-System extrahiert und durch das INFO+-System der Fraport AG angereichert (Bezug über das Fraport-System CAPMAN). Die Kapazitätsprognose wird am Flughafen Frankfurt (EDDF) durch den Capacity Manager (CAPMAN, vergleiche [4]) zur Verfügung gestellt. Der CAPMAN und die damit verbundene Prognose steht nur für den Flughafen Frankfurt zur Verfügung.

Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie im Rahmen von LuFo III beziehungsweise LuFo IV

Mit einem Planungshorizont von dreißig Minuten bis zu sechs Stunden kann CLOU die Lücke zwischen taktischen Planungssystemen – wie zum Beispiel ein Arrival Manager (AMAN) oder ein Departure Manager (DMAN) – und der prätaktischen Netzwerkplanung durch die Central Flow Management Unit (CFMU, Abteilung von Eurocontrol, vergleiche [12]) füllen. Alle fünf Minuten generiert CLOU unter Berücksichtigung von Demand, Kapazität und Optimierungsparametern (zum Beispiel minimale Betriebsdauer einer Bahnnutzungsstrategie) eine aktuelle Prognose über die optimalen Betriebsverfahren, die Auslastung jeder einzelnen Runway und Kenngrößen (vergleiche [11]). Wesentliche Kenngrößen sind Flow, Delay und Pünktlichkeit.

Der Flow gibt die Anzahl der Flüge wieder, die in einem Zeitintervall auf einer Runway abgefertigt werden können. Bei voller Ausnutzung der Kapazität entspricht der Flow der Kapazität.

Die Kenngröße Delay basiert auf der Summe der Differenzen der Prognose- und der Bestzeiten eines jeden Fluges. Flüge werden für die Kenngröße nur berücksichtigt, wenn die Differenz positiv ist (der Flug wurde verzögert). Um operationellen Anforderungen zu genügen, wird der Delay auch als Durchschnittswert pro Flug angegeben.

Ein Flug gilt nach der Definition durch die International Air Transport Association (IATA) als pünktlich, wenn dieser nicht mehr als fünfzehn Minuten vom Schedule verspätet ist. Die Kenngröße gibt den prozentualen Wert der Summe der pünktlichen Flüge an.

Auf den Optimierungsalgorithmus des CLOU, der sogenannte Flow Manager (FMAN), wird an dieser Stelle nicht weiter eingegangen und auf [5] und [6] verwiesen.

2. BAHNNUTZUNGSSTRATEGIE

An Flughäfen mit einem Multi-Runwaysystem ist es möglich die An- und Abflüge über verschiedene Runways abzuarbeiten. Allerdings werden in der Regel die An- und Abflüge mit den gleichen Standard Instrument Departure Routes (SID) beziehungsweise Standard Terminal Arrival Routes (STAR) über dieselbe Runway abgewickelt, da Runwayzuweisungen, die nicht durch Regeln strukturiert sind, im Falle einer hohen Verkehrsdichte zu einer undurchschaubaren und unsicheren Verkehrssituation im Luftraum führen könnten. In Folge einer festen Runwayzuweisung kann jedoch eine Runway überlastet werden, auf einer anderen dagegen stünden noch freie Kapazitäten zur Verfügung. Eine bessere Balance der Runwayauslastungen kann zum Beispiel durch das Verschieben nach SID beziehungsweise STAR gruppierten Ab- beziehungsweise Anflügen erzielt werden. Diese Verschiebung der An- oder Abflugströme werden durch die dienstha-

benden Wachleiter koordiniert. Eine Verschiebung des Ab- oder Anflugstroms stellt kein Problem dar, so lange ausreichend Kapazität auf der alternativen Runway für den zusätzlichen Verkehr vorhanden ist. Allerdings ist die Entscheidung für eine Verschiebung in der Regel nicht trivial. Die diensthabenden Wachleiter müssen eine Abschätzung durchführen, ob der resultierende Delay bei einer Verlegung des Ab- oder Anflugstroms eine Verbesserung gegenüber der bestehenden Situation darstellt.

Eine weitere Maßnahme der Bahnnutzungsstrategie stellt die Priorisierung dar. Die Priorisierung gibt das Verhältnis zwischen dem An- und Abflugstrom auf einer Runway im Mischbetrieb an. Durch die Änderung des Verhältnisses kann eine Erhöhung des entsprechenden Flow erreicht werden. Auch für die Priorisierung ist die Entstehung des Delay durch den Wachleiter schwer einschätzbar.

Die Entscheidung für eine Verschiebung oder Priorisierung eines An- oder Abflugstroms basiert auf den persönlichen Erfahrungen und Abschätzungen der Wachleiter des Tower und des Approach. Die Entscheidungsfindung gewinnt zusätzlich an Komplexität, da diese zwangsweise an Verhandlungen zwischen den Wachleitern verknüpft ist. Der Wachleiter des Tower legt zum Beispiel seine Priorität auf die effiziente Abwicklung der Abflüge, dagegen präferiert der Approach-Wachleiter die Anflüge. Da in der Regel Anflüge gegenüber Abflügen vorzuziehen sind, findet eine gemeinsame Entscheidungsfindung nur begrenzt statt.

Diese Problematik spiegelt sich in den vorhandenen Systemen wider, die Wachleiter bei der Entscheidungsfindung unterstützen. Der Anfluglotse kontrolliert den anfliegenden Verkehr, ohne die Verkehrssituation beziehungsweise Verkehrsplanung auf der abfliegenden Seite im Detail zu kennen. Währenddessen wird bei der Abflugkontrolle ein Flugplandatenprozesssystem eingesetzt, welches den anfliegenden Verkehr nicht berücksichtigt. Die zurzeit verwendete Langzeitplanung, die durch die Eurocontrol-Abteilung CFMU bereitgestellt wird, ermöglicht zudem keine ganzheitliche und aktuelle Übersicht über die vorherrschende Verkehrssituation am Flughafen zu bekommen.

Die Entwicklung des CLOU findet zurzeit für den Flughafen Frankfurt und für den Flughafen München statt. Diese beiden Flughäfen unterscheiden sich grundlegend in den Bahnnutzungsstrategien. Am Flughafen Frankfurt kann der Abflugstrom von dem Parallelbahnsystem auf die Startbahn West verlegt werden. Dagegen können am Flughafen München keine Ströme verlegt, sondern die Priorisierung dem Demand angepasst werden. Ein Priorisierungswechsel am Flughafen München kann innerhalb von zehn Minuten vollzogen werden, dagegen benötigt eine Verlegung des Abflugstromes eine Vorlaufzeit von

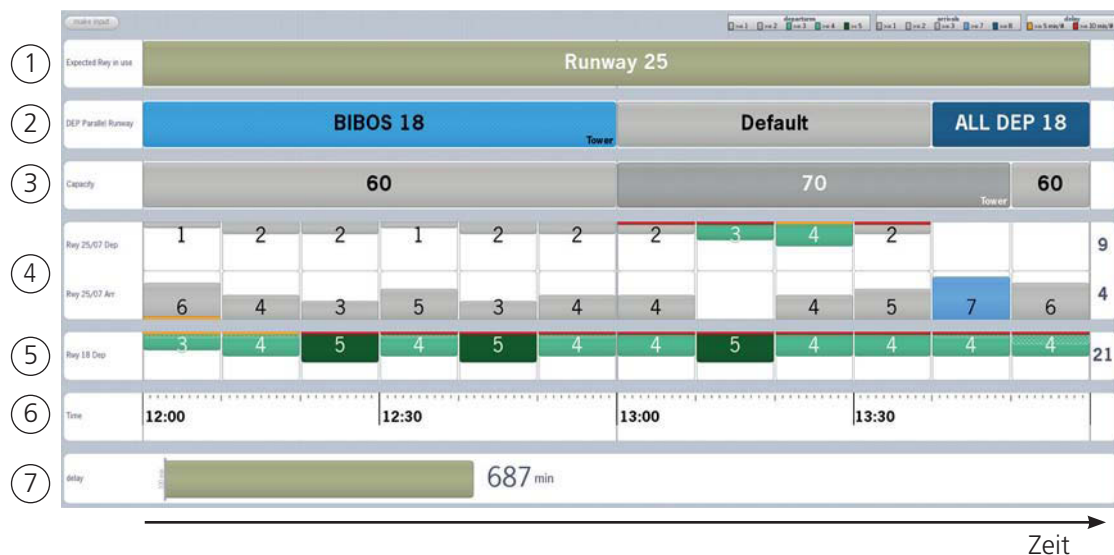


BILD 1. Darstellung der Planungsergebnisse

zirka einer halben Stunde. Hieraus ergeben sich andere Anforderungen an die Vorschläge der Bahnnutzungsstrategie des Flowmanagementsystems.

3. FLOWMANAGEMENT

Ein flughafenzentriertes Flowmanagementsystem dient der Planung und Steuerung der Verkehrsmenge eines Flughafens bei gleichzeitiger Gewährleistung eines sicheren und hohen Verkehrsdurchsatzes. Hierfür muss zum einen die maximale Ausnutzung vorhandener Kapazitäten sichergestellt und zum anderen Verkehrsüberlastungen in einzelnen Verkehrsräumen vermieden werden. Die Zielsetzung des CLOU ist die Optimierung in Bezug auf Gesamtpünktlichkeit und -delay der Verkehrsmenge auf einem Runwaysystem. Dabei findet eine ganzheitliche Betrachtung des an- und abfliegenden Verkehrs statt. Zusätzlich unterstützt der CLOU die Entscheidungsfindung der Bahnnutzungsstrategie zwischen dem Tower und dem Approach durch einen Vorschlag des optimalen Betriebsverfahrens und dem Zeitpunkt für ein Betriebsverfahrenwechsel.

Im Rahmen der Entwicklungsarbeiten zum CLOU mussten die der Optimierung zugrunde liegenden Betriebsverfahren von dem operationellen Betrieb in mathematische Beziehungen gesetzt werden. Dazu wurde basierend auf der Gesamtkapazität ein Knoten-Kanten-Modell entwickelt, welches in Abhängigkeit der einzelnen Betriebsverfahren die Teilkapazitäten der Runways, der An- und Abflüge sowie der An- und Abflugrichtungen zur Verfügung stellt (vergleiche [10]).

Da die Wachleiter auf einen hohen Erfahrungsschatz zurückgreifen und die Situation somit fundierter einschätzen

können, besteht die Möglichkeit diese Erfahrung in Form von Kapazitätswerten in das System einzugeben. Damit wird eine verbesserte Ausgangssituation für die Optimierung ermöglicht.

Während einer Planung wird durch ein iteratives Verfahren basierend auf den hinterlegten Kapazitäts- und Demandvorhersagen eine Bahnnutzungsstrategie generiert (vergleiche [5]). Im Anschluss wird eine mengengeteuerte Sequenz erstellt, in der drei, auf die Bahnnutzungsstrategie gestützten Optimierungsstufen (vergleiche [13]) erzeugt werden. Für jeden Flug werden entsprechend den Optimierungsstufen Zielzeiten generiert.

Neben den Betriebsverfahren und der Priorisierung stellt die Betriebsrichtung einen weiteren Bestandteil der Bahnnutzungsstrategien dar. Zurzeit ist eine Optimierung mit unterschiedlichen Betriebsrichtungen noch nicht implementiert. Das Eintreten einer Betriebsrichtungsänderung stellt einen seltenen Sonderfall dar und wird in den kommenden Arbeiten im Verbundvorhaben iPort bearbeitet.

4. DARSTELLUNG DER PLANUNGSERGEBNISSE

Mit Hilfe eines HMI werden die Planungsergebnisse des CLOU dargestellt (vergleiche BILD 1). Damit wird eine Betrachtung der grundlegenden Vorschläge über einen Planungshorizont von zwei und mehr Stunden den Wachleitern ermöglicht. Dabei werden die Ergebnisse zeitlich aufsteigend von links (aktueller Zeitpunkt) nach rechts (steigender Planungshorizont) in Zehn-Minuten-Intervalle unterteilt. In der sechsten Reihe wird die UTC-Zeit in halben Stundenabschnitten angezeigt. Zum besseren

Einordnen der zeitlichen Entfernung sind stundenweise Abschnitte eingeteilt.

Die erste Reihe beinhaltet die im System hinterlegte Betriebsrichtung und dient den Wachleitern als Kontrolle.

Der Vorschlag des zu verwendenden Betriebsverfahrens wird in der zweiten Reihe dargelegt. Jedes Betriebsverfahren wird mit einer bestimmten Farbe und Bezeichnung kodiert, um ein schnelles Erkennen des Betriebsverfahrens zu ermöglichen. Diese Reihe stellt somit den Vorschlag der Bahnnutzungsstrategie dar. Anhand der weiteren Informationen müssen die Wachleiter den Vorschlag dahingehend bewerten, ob die entstehende Verbesserung des Delay eine Umsetzung rechtfertigt.

Die dritte Reihe visualisiert die im System hinterlegte Kapazitätsprognose als Gesamtkapazitätswert des Runwaysystems (am Flughafen Frankfurt durch den CAPMAN bereitgestellt). Falls ein Wachleiter die vorhandene Kapazität anders einschätzt, so kann der Kapazitätswert manuell überschrieben werden. Diese Möglichkeit besteht für die Gesamtkapazität, für die Teilkapazitäten des Runwaysystems sowie für die Teilkapazitäten von an- und abfliegenden Verkehr auf einer Runway (vergleiche BILD 2).

Die Darstellung von An- oder Abflugpriorisierung folgt in den Reihen vier und fünf. Die Anzahl der Flüge pro Zehn-Minuten-Intervall ist farbkodiert (mit unterschiedlichen Farben für An- und Abflüge), über ein Balkendiagramm und als numerischer Wert dargestellt. Als zusätzliche Information wird der entstehende Delay des jeweiligen Zehn-Minuten-Intervalls farbkodiert in zwei Stufen (mehr als 15 min beziehungsweise mehr als 30 min) angezeigt. Der durchschnittliche Delay pro Flug auf der jeweiligen Bahn (nach An- und Abflügen unterteilt) wird auf der rechten Seite dargestellt. Hieraus können problematische Intervalle durch die Wachleiter erkannt werden. Am Flughafen Frankfurt wird zudem auf der Startbahn West die Anzahl der Flüge, die aufgrund des Betriebsverfahrens auf die Startbahn West verschoben wurden, durch eine Kreuzschraffur gekennzeichnet. Diese Information ermöglicht eine Bewertung der betroffenen Flüge bei einer Betriebsverfahrensänderung.

In der letzten Reihe zeigt eine Balkengrafik das Verbesserungspotential des entstehenden Delay als Summe über alle Flüge in Minuten an. Findet durch einen Vorschlag keine ausreichende Delayverbesserung statt, kann dies der Wachleiter anhand dieser Grafik ableiten.

Das vorliegende Beispiel in BILD 1 vom 3. Februar 2010 um 12.00 Uhr beruht auf realen Flugplandaten. Für den Zeitraum bis 13.00 Uhr wurden beispielhaft die Nordwestabflüge auf die Startbahn West verlegt, die daraufhin in der Anzeige hervorgehoben werden (fünfte Reihe). In den

25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	+					
BIBOS 18						Time	D	D	D	D	18	18	+					
Capacity	60	60	60	60	60	60	70					Time	60	+				
Time Slot 1	17	17	17	17	17	17	20	20	20	20	0	0	+					
Time Slot 2	36	36	36	36	36	36	42	42	42	42	42	36	+					
Time Slot 3	25	25	25	25	25	25	29	29	29	29	29	25	+					
Time	12:00					12:30					13:00					13:30		

BILD 2. Eingabemöglichkeit für Parameter durch die Wachleiter

folgenden fünfzig Minuten wurde die Gesamtkapazität manuell erhöht (beide manuellen Eingaben sind in BILD 2 erkennbar). In der siebten Reihe ist eine Gesamtdelayverbesserung von 687 min zu erkennen.

Die Visualisierung ermöglicht es den Wachleitern, sich ein mentales Bild der entstehenden Verkehrssituation unter Berücksichtigung der optimierten Bahnnutzungsstrategie und dessen Verbesserungspotential zu machen. Der vom CLOU generierte Vorschlag kann den Entscheidungsfindungsprozess unterstützen, stellt jedoch keine bindende Lösung dar.

5. OPERATIONELLE AUSWERTUNG

Seit 2006 wird der CLOU kontinuierlich in der Forschungsabteilung der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH im Shadow-Mode für den Flughafen Frankfurt betrieben. Anhand dieses Betriebs wurde das System auf Mängel hin untersucht und stetig weiterentwickelt. Seit 2008 finden regelmäßige, betriebliche Untersuchungen des Systems in Form von Feldtests am Flughafen Frankfurt statt. Zwischen Mai und Juli 2009 wurde die ausführlichste operationelle Auswertung durchgeführt. Die Untersuchungen werden im zweiten Quartal 2010 fortgesetzt.

Ein Ziel der Feldtests war und ist es, den Wachleitern des Tower und des Approach die Möglichkeit zu geben das unterstützende System CLOU bei der Verkehrsabwicklung auf die Verwendbarkeit der Vorschläge hin zu bewerten. Diese Auswertungen bieten die Möglichkeit Wünsche und weitere Anforderungen durch die späteren Nutzer zu sammeln.

Im Folgenden werden einzelne Ergebnisse aus diesen Feldtests vorgestellt (vergleiche [7] und [8]). Dabei wird auf die Integration des Systems in den bisherigen Arbeitsplatz und auf nötige Schritte zur Erhöhung der Akzeptanz des Systems bei den Nutzern eingegangen.

5.1. Integration in den Arbeitsplatz

Da der CLOU einen Prototypstatus inne hat, ist es aus sicherheitstechnischen Erwägungen nicht möglich die Planungsinformationen in das operationelle System einzuspeisen. Aus platztechnischen Gründen ist eine Integration eines zusätzlichen Bildschirms in den Arbeitsplatz eines Wachleiters nicht möglich. Deswegen wurde ein bestehender Rechner gewählt, der nicht mit dem operationellen System verbunden ist. Der CLOU-Rechner verbleibt weiterhin im Forschungslabor und die Planungsdaten werden via Intranet übertragen. Hierdurch entstehen Einschränkungen in der durchgängigen Präsenz der Planungsergebnisse und der Erreichbarkeit der Informationen durch den Wachleiter.

5.2. Change Management

Die Präsentation und Optimierung einer Bahnnutzungsstrategie stellt einen neuen Ansatz für die Wachleiter dar, der die Sichtweise auf das Verkehrsgeschehen ändert. Die Entscheidung für ein Betriebsverfahrenwechsel kann mit mathematischen Berechnungen unterstützt werden. Damit die Wachleiter die Ergebnisse korrekt interpretieren, muss ein Verständnis für die dargestellten Informationen sowie die gesamtheitliche Betrachtungsweise geschaffen werden. Während einer operationellen Auswertung kann der Wachleiter Vertrauen in das System gewinnen, indem er seine Sicht der Situation mit der Planung des CLOU vergleicht. Dies erfordert eine hohe Qualität der Planungsstabilität im zeitlichen Nahbereich und eine hohe Planungsgüte der Bahnnutzungsstrategie. Das Thema Change Management erfordert weiteren Untersuchungsbedarf.

5.3. Vorläufige Resultate

Im Folgenden werden die wichtigsten Resultate und Ergebnisse aus den bisherigen Feldversuchen genannt.

5.3.1. Kapazitätsprognose

Die durch den CAPMAN gelieferte Kapazitätsprognose war sehr zutreffend. Lediglich Ausnahmen erforderten eine manuelle Korrektur, so zum Beispiel Situationen von grenzwertigen Rückenwinden kombiniert mit Pilotenentscheidungen auf der Startbahn West.

5.3.2. Grundlage der Entscheidungsfindung

Basierend auf den Planungsergebnissen des CLOU und einer adäquaten Datenqualität überprüften die diensthabenden Wachleiter die Vorschläge der Bahnnutzungs-

strategie. Als Grundlage für die Entscheidungsfindung ergaben sich drei charakteristische Merkmale: die Verbesserung des Gesamtdelay, die Anzahl der verschobenen Flüge und die Vorhersagestabilität.

5.3.2.1. Verbesserung des Gesamtdelay

Als Hauptgrund für die Entscheidungsfindung entwickelte sich der Gesamtwert der Delayverbesserung über den gesamten Planungshorizont. Dieser Wert wird als Balkengraphik im HMI dargestellt (vergleiche BILD 1, siebte Reihe). Falls die Delayverbesserung einen Wert von über einhundert Minuten übersteigt, so wurde der Vorschlag in der Regel durch die Wachleiter als akzeptabel bewertet.

5.3.2.2. Anzahl der verschobenen Flüge

Eine zu geringe Anzahl an verschobenen Flügen zwischen den Bahnen rechtfertigt nicht den erhöhten Koordinations- und Arbeitsaufwand, der bei einer Ausführung des CLOU-Vorschlages entstehen würde.

5.3.2.3. Vorhersagestabilität

Von Seiten der Nutzer wurde bestätigt, dass eine gewisse Stabilität der Vorhersage garantiert sein muss. So benötigt zum Beispiel ein Betriebsverfahrenwechsel bis zu einer halben Stunde Vorlaufzeit. Aus diesem Grund muss sichergestellt sein, dass eine Betriebsverfahrenprognose über die erste halbe Stunde stabil sein muss. Allerdings könnte anhand des Grades der Stabilität die Flexibilität (zum Beispiel durch eine plötzliche Verkehrslageänderung, die eine eigentliche Betriebsverfahrenänderung bedeuten würde) des Systems leiden.

5.3.3. Einschränkungen während der Feldtests

Eine Bewertung des CLOU konnte nicht kontinuierlich durchgeführt werden, da in Situationen mit hohem Verkehrsaufkommen – in denen die Stärke des Flowmanagement liegt – aufgrund hoher Arbeitsbelastung diese von den Wachleitern zurückgestellt worden ist.

5.3.4. Resümee der Nutzer

Der CLOU stellt einen guten Ansatz für ein unterstützendes Planungssystem bei der Verkehrsabwicklung dar. Insbesondere für das geplante Vierbahnsystem erwarten die Wachleiter ein zusätzliches Verbesserungspotential durch den CLOU.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Der CLOU als prätaktisches, flughafenzentriertes Flowmanagementsystem stellt den Wachleitern des Tower und des Approach einen Bahnnutzungsstrategievorschlag zur Verfügung. Durch eine weitschauende Planung kann

Kapazitätsengpässen an einem Hubflughafen rechtzeitig entgegen gewirkt und der »reactionary delay« damit ebenfalls reduziert werden.

Das CLOU HMI bereitet die Planungsergebnisse grafisch auf. Neben der Bahnnutzungsstrategie werden entscheidungsrelevante Kenngrößen wie der entstehende Delay oder Flow zur Anzeige gebracht.

Die bisherigen Feldtests haben eine erste Abschätzung über die operationelle Nutzbarkeit des Systems durch die Wachleiter ermöglicht. Die späteren Nutzer konnten konstruktive Kritik und Vorschläge für weitere Funktionen des CLOU beziehungsweise Verbesserung der Mensch-Maschine-Schnittstelle dem Entwicklungsteam unterbreiten. Dieses wird in der weiteren Entwicklung des CLOU berücksichtigt und umgesetzt.

Durch die erzielten Ergebnisse konnte der CLOU die Wachleiter vom Potenzial des Systems überzeugen.

7. AUSBLICK

Im weiteren Verlauf des Verbundvorhabens soll der CLOU an die zukünftige Flughafentopologie des Flughafens Frankfurt und des Flughafens München angepasst werden. Aufgrund der baulichen Maßnahmen ergeben sich neue Betriebsverfahren, die im CLOU abgebildet werden müssen.

Eine Anbindung an taktische Systeme soll erfolgen, an die der CLOU die durchgeführte Mengensteuerung weiter gibt. Für die Umsetzung der Koppelung müssen entsprechende Schnittstellen sowie die Koordinierung untereinander festgelegt werden.

Die Abbildung des Zeitpunktes eines Betriebsrichtungswechsel ist zurzeit noch nicht implementiert, da dies stark von der vorherrschenden Wettersituation abhängig ist. Ein Wechsel erfolgt aufgrund der Wetter- und nicht aufgrund der Verkehrslage. Dennoch soll der Betriebsrichtungswechsel stärker in die Optimierung integriert werden, damit das Gesamtsystem abgebildet wird.

Die Bedeutung der Pünktlichkeit als Optimierungskriterium bei der Bahnnutzungsstrategie soll erhöht werden.

8. SCHRIFTENTUM

- [1] „Luftverkehr in Deutschland – Mobilitätsbericht 2007“, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, 2008
- [2] Eurocontrol, Medium-Term Forecast – Flight Movements 2008-2014, Vol. 1, Eurocontrol Statfor, 2008
- [3] Eurocontrol Trends in Air Traffic, A Matter of Time: Air Traffic Delay in Europe, Vol. 2, Eurocontrol Statfor, 2007
- [4] Fraport AG, „Optimale Kapazitätsnutzung CAPMAN – Capacity Manager“, 2008
- [5] R. Kaufhold, K. Nachtigall, S. Marx, C. Müller-Berthel, „A pre-tactical Generalised Air Traffic Flow Management Problem“, Paper, 7th USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar, 2007
- [6] A. Pick, „Validation results of Airport Total Operations Planner Prototype CLOU“, Paper, 7th USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar, 2007
- [7] R. Kaufhold, „CLOU Bewertung – Test im operationellen Betrieb“, unveröffentlicht, 2008
- [8] R. Kaufhold, K. Schwentek, Ch. Hüber, A. von Eckartsberg, M. König, „Auswertung CAPMAN/CLOU Feldversuch“, unveröffentlicht, 2009
- [9] R. Kaufhold, TE im Fokus, Ausgabe 1/2008, Abschluss des Vorhabens „Kooperatives Air Traffic Management“, Seite 16ff, 2008
- [10] C. Müller-Berthel, FMAN Betriebsverfahren, 2008
- [11] E. Rehwald, Cooperative Local Resource Planner, Gesamtübersicht, 2010
- [12] Eurocontrol, Central Flow Management Unit, Executive Summary, 2008
- [13] K. Nachtigall, S. Marx, C. Müller-Berthel, Interoperables flughafenzentriertes Flugverkehrsmanagement, Aktualisierung der Flowoptimierung, 2007