



(11) **EP 1 805 742 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
19.08.2009 Patentblatt 2009/34

(21) Anmeldenummer: **05789840.5**

(22) Anmeldetag: **13.09.2005**

(51) Int Cl.:
G08G 5/00^(2006.01)

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE2005/001597

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2006/042490 (27.04.2006 Gazette 2006/17)

(54) **PRÄTAKTISCHE STEUERUNGSEINRICHTUNG**

PRE-TACTICAL CONTROL DEVICE

DISPOSITIF DE REGULATION PRETACTIQUE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI SK TR

(30) Priorität: **20.10.2004 DE 102004050988**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
11.07.2007 Patentblatt 2007/28

(73) Patentinhaber:
• **Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. 51147 Köln (DE)**
• **Deutsche Flugsicherung GmbH 63225 Lange (DE)**

(72) Erfinder:
• **PICK, Andreas 38118 Braunschweig (DE)**

• **PIEKERT, Florian 38114 Braunschweig (DE)**
• **KAUFHOLD, Rainer 64287 Darmstadt (DE)**
• **ALBERT, Oliver, Franz 63571 Geinhausen (DE)**

(74) Vertreter: **Gerstein, Hans Joachim et al Gramm, Lins & Partner GbR Freundallee 13a 30173 Hannover (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
US-A- 5 265 023 US-A1- 2002 177 943
US-A1- 2003 139 875

EP 1 805 742 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine prätaktische Steuerungseinrichtung zur Verkehrssteuerung, die zur Verbindung mit einem taktischen Steuerungssystem zur Zuweisung von Verkehrsereigniszeiten vorgesehen ist, die von Verkehrsmitteln an festgelegten Verkehrsknotenpunkten einzuhalten sind.

[0002] In komplexen Verkehrssystemen, wie z. B. Luftverkehrssystemen und Eisenbahnnetzen, ist eine automatisierte Steuerung der einzelnen Verkehrsmittel unabdingbar, um eine reibungslose Abwicklung von Verkehrsereignissen an Verkehrsknotenpunkten zu ermöglichen und sicherzustellen, so dass die Verkehrspläne, d. h. die Flug- bzw. Fahrpläne, für die Verkehrsmittel möglichst genau eingehalten werden. Diese Steuerungsaufgabe für solchermaßen technische Objekte kann heutzutage nicht mehr manuell von Verkehrsplanern oder Lotsen ausgefüllt werden, sondern erfordert spezialisierte automatische Steuerungssysteme.

[0003] Für die Luftverkehrssteuerung sind taktische Steuerungssysteme hinreichend bekannt, die Start- und Landezeiten für Flugzeuge im taktischen Steuerungszeithorizont bis circa eine halbe Stunde vor dem geplanten Start bzw. der geplanten Landung einem Flugzeug zuweisen. Der Flugzeugführer hat dann dafür zu sorgen, dass er die zugewiesenen Verkehrsereigniszeiten, die kurze Zeitfenster von wenigen Minuten sein können, einhält. Die taktischen Steuerungssysteme berücksichtigen zeitlich nahe und lokale Informationen bei der Zuweisung der Verkehrsereigniszeiten, sind aber oftmals nur in der Lage auf eine eintretende Situation zu reagieren. Aufgrund ihres relativ kurzen zeitlichen Steuerungszeithorizontes haben taktische Steuerungssysteme keine Möglichkeit eine sich abzeichnende ungünstige Verkehrssituation zu erkennen und rechtzeitig darauf zu reagieren.

[0004] Weiterhin sind strategische Planungssysteme bekannt, mit denen in den die Verkehrsereignisse umfassenden strategischen Vorausplanungszeithorizonten, die wesentlich größer als die prätaktischen Steuerungszeithorizonte sind, einmalig und mehrere Stunden vor dem eigentlichen Verkehrsereignis Zeitfenster, so genannte Slots, an die Verkehrsmittel vergeben werden. Diese Zeitfenster bleiben von neu auftretenden Verkehrssituationen relative unberührt. Sie können zwar aufgehoben, neu verhandelt und auch untereinander nach Verhandlungen getauscht werden. Die Planung der Zeitfenster erfolgt jedoch nur auf Basis weniger langfristiger lokaler Informationen, wie z. B. die Flughafenskapazität. Da die strategischen Planungssysteme die Verkehrsströme in einem weiträumigen Raum unter Berücksichtigung einer Vielzahl von Flughäfen berücksichtigt, ist die Planung auf die Verfolgung weniger übergeordneter Ziele zur Optimierung beschränkt.

[0005] US 5,265,023 A offenbart ein Flugverkehrssteuerungssystem, bei dem aktuelle Flugverkehrsinformationen, die zum Beispiel durch Radarüberwachung gewonnen werden, nicht nur zur Anzeige der aktuellen

Verkehrslage angezeigt werden. Die aktuellen Verkehrsinformationen werden vielmehr mit Informationen über Bodenverzögerungen zusammengeführt, um die aus den Bodenverzögerungen sich ergebenden, erwarteten Abflugfreigabezeiten zu aktualisieren. Dadurch wird das taktische Steuerungssystem dahingehend erweitert, dass Bodenverzögerungen bei der aktuellen Verkehrslenkung mit berücksichtigt werden.

[0006] Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine prätaktische Steuerungseinrichtung zur Verkehrssteuerung zu schaffen, mit der eine Reaktion auf eine mittelfristig absehbare sich entwickelnde problematische Verkehrssituation möglich ist und durch gezielte und rechtzeitige Steuerung dem sich hieraus ergebenden Verkehrsproblem entgegengewirkt werden kann.

[0007] Die Aufgabe wird durch die gattungsgemäße prätaktische Steuerungseinrichtung erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die prätaktische Steuerungseinrichtung zur Festlegung von Zielzeiten für Verkehrsereignisse einzelner Verkehrsmittel an den festgelegten Verkehrsknotenpunkten in einen prätaktischen Steuerungszeithorizont ausgebildet ist, der größer als der taktische Steuerungszeithorizont des taktischen Steuerungssystems ist und die mindestens eine zugewiesene Verkehrsereigniszeit umfasst, wobei die Zielzeiten mindestens in Abhängigkeit von vorgegebenen Verkehrsplänen, von Aktualisierungen der Verkehrspläne und von Prognosen über die an einem Verkehrsknotenpunkt über die Zeit abwickelbaren Verkehrskapazitäten so ermittelt werden, dass die Zielzeiten die Verkehrsereignisse an dem Verkehrsknotenpunkt hinsichtlich der Kapazität unter Einhaltung der an einem Verkehrsknotenpunkt abwickelbaren Verkehrskapazitäten, die Einhaltung der vorgegebenen Verkehrspläne und der Stabilität der Planung und Steuerung optimieren, dass eine Schnittstelle zu dem taktischen Steuerungssystem vorhanden ist, um die Zielzeiten als auf Prognosen basierende optimierte Steuerungsparameter in das taktische Steuerungssystem zu führen.

[0008] Durch die Berechnung und Verteilung von zu erreichenden Zielzeiten an die Verkehrsmittel in einem prätaktischen (mittelfristigen) Steuerungshorizont kann eine verbesserte Steuerung der Verkehrsereignisse an festgelegten Verkehrsknotenpunkten, wie zum Beispiel Start- und Landebahnen von Flughäfen, erfolgen, wenn die Zielzeiten als Ergebnis einer Optimierung der Kapazität, der Planeinhaltung und der Planstabilität bestimmt und in ein kurzfristiges taktisches Steuerungssystem geführt werden.

[0009] Eine weitere Schnittstelle zu einem strategischen Planungssystem ist zur Festlegung von Zeitfenstern für Verkehrsereignisse von Verkehrsmitteln an einem Verkehrsknotenpunkt in einem längerfristigen strategischen Vorausplanungszeithorizont vorgesehen. Der prätaktische Steuerungszeithorizont ist dabei kleiner als der längerfristige strategische Verkehrsplanungszeithorizont, der ebenfalls mindestens eine zugewiesene Verkehrsereigniszeit umfasst. Die von der prätaktischen

Steuerungseinrichtung festgelegten Zielzeiten werden dann auch in das strategische Planungssystem als Planungseinganggröße geführt. Derartige strategische Planungssysteme sind, wie einleitend ausgeführt wurde, in Luftverkehrssteuerungssystemen bekannt, um Slots zuzuweisen.

[0010] Mit der prätaktischen Steuerungseinrichtung wird dadurch eine Lücke zwischen dem strategischen Steuerungssystem und dem taktischen Steuerungssystem geschlossen. In Luftverkehrssteuerungssystemen beginnt der prätaktische Steuerungszeithorizont etwa zwei bis drei Stunden und endet ca. eine halbe Stunde vor dem Verkehrsereignis. Das strategische Planungssystem hat hingegen einen längerfristigen Verkehrsplanungszeithorizont von zwei bis drei Stunden und mehr vor dem Verkehrsereignis. Der taktische Steuerungszeithorizont des taktischen Steuerungssystems liegt hingegen circa eine halbe Stunde vor dem Verkehrsereignis. Die Steuerung durch die prätaktische Steuerungseinrichtung erfolgt beispielsweise in einem Steuerungszeitfenster zwischen dem Beginn des taktischen Steuerungszeithorizonts und dem Beginn des strategischen Steuerungszeithorizonts, kann sich aber auch mit dem Planungszeitfenster des strategischen Planungssystems und dem taktischen Steuerungssystem überlappen.

[0011] Besonders vorteilhaft ist es, wenn eine Schnittstelle zu dem taktischen Steuerungssystem zur Rückführung einer voraussichtlichen Verkehrsereigniszeit für ein Verkehrsereignis vorgesehen ist, um die in Abhängigkeit von den Zielzeiten bestimmte Verkehrsereigniszeit an die prätaktische Steuerungseinrichtung als Basisgröße für die Optimierung der darauf folgenden Zielzeiten weiterer Verkehrsereignisse zurückzuführen. Diese Verkehrsereigniszeit, die ein Zeitbereich sein kann, wird für jedes Verkehrsmittel, zum Beispiel Flugobjekt, vergeben und kann auf Realisierbarkeit geprüft werden, um den Flugplan kurzfristig entsprechend zu verändern.

[0012] Wenn die prätaktische Steuerungseinrichtung zur Steuerung des Luftverkehrs, insbesondere der Starts und Landungen als Verkehrsereignisse von Flugzeugen als Verkehrsmittel von einer Start-/Landebahn als Verkehrsknotenpunkt eines Flughafens eingesetzt wird, ist es vorteilhaft, wenn die Zielzeiten durch zeitliche Aneinanderreihung der Verkehrsereignisse der Flugzeuge optimiert zur Auslastung der Kapazität unter Berücksichtigung von Staffelnabständen, von für Starts und Landungen getrennten Kapazitätsprognosen, und von Nachfragen an Verkehrsereignissen bestimmt werden. Die Verkehrsereignisse der Flugzeugen sind somit als Sequenzen vorgehalten, die durch einen geeigneten Optimierungsalgorithmus stets verbessert werden.

[0013] Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn die prätaktische Steuerungseinrichtung zur Festlegung der Zielzeiten in Abhängigkeit von aktuellen oder prognostizierten Wetterbedingungen ist. Damit werden Wetterdaten als Kriterien für die Optimierung mit genutzt.

[0014] Hierbei können insbesondere die abwickelbaren Verkehrskapazitäten wetterabhängig bestimmt wer-

den.

[0015] Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn der Verkehrsknotenpunkt zur Berechnung der Zielzeiten auf eine Schwelle der Start-/Landebahn bezogen ist. Die Planeinhaltung der vorgegebenen Verkehrspläne sollte hingegen bezogen auf ein Abfertigungsstandplatz für das jeweilige Flugzeug zur Optimierung der Zielzeiten bewertet werden. Die Umrechnung der Planeinhaltung auf die Schwelle erfolgt dann mittels Taxizeiten und/oder Enteisungszeiten für die Flugzeuge, die standardmäßig vorgegeben sein können oder aktuell gemessene Vergleichszeiten sind.

[0016] Die Erfindung wird nachfolgend anhand der beigefügten Zeichnungen beispielhaft anhand der Luftverkehrssteuerung erläutert. Es zeigen:

Figur 1 - Blockdiagramm einer prätaktischen Steuerungseinrichtung in Verbindung mit einem taktischen Steuerungssystem und einem strategischen Planungssystem;

Figur 2 - Diagramm der abfliegenden Kapazität über die ankommende Kapazität zur Anpassung eines Arbeitspunktes für die Optimierung;

Figur 3 - Darstellung der Slots, Zielzeiten und taktischen Verkehrsereigniszeiten.

[0017] Die Figur 1 lässt ein Blockdiagramm der prätaktischen Steuerungseinrichtung 1 erkennen, die mit einem taktischen Steuerungssystem 2 zur Steuerung in einem taktischen (kurzfristigen) Steuerungshorizont von circa 30 Minuten vor dem Verkehrsereignis und einem strategischen Planungssystem 3 verbunden ist. Das strategische Planungssystem 3 hat einen strategischen (langfristigen) Planungszeithorizont von mehr als zwei bis drei Stunden vor dem Verkehrsereignis, insbesondere dem Start oder der Landung eines Flugzeuges.

[0018] Die prätaktische Steuerungseinrichtung erhält Kapazitätsprognosen $KAP(t)$ für die Start- und Landebahnen sowie die Start- und Landeanfragen (DEMAND) von Verkehrsmitteln über die Zeit t . Die Kapazitätsprognosen $KAP(t)$ werden mit bekannten und an Flughäfen vorhandenen Kapazitätsprognosetools 4 aus einer aktuell eingestellten Kapazität FPL , dem sogenannten Flow-Wert taktischer Steuerungssysteme, sowie einer statistischen Betrachtung von Vergangenheitsdaten in Abhängigkeit von Wetterdaten W erstellt. Insbesondere der Flow-Wert FPL , der aktuelle Zustand am Flughafen ZF sowie die Wetterdaten W werden zudem von einem Flughafen-Zustandsermittlungstool 5 dem Kapazitätsprognosetool 4 und der prätaktischen Steuerungseinrichtung 1 zur Verfügung gestellt.

[0019] Weiterhin ist ein Flugplanerzeuger 6 vorhanden, um einen aktuellen Flugplan FP sowie aktualisierte Flugpläne FP' auf der Basis einer Datenbank 7 der prätaktischen Steuerungseinrichtung 1 zur Verfügung zu stellen. Der Flugbahnerzeuger 6 ist mit dem taktischen

Steuerungssystem 2 ebenfalls verbunden, um die Flugpläne FP aufgrund kurzfristiger Steuerungseingriffe in den Luftverkehr anzupassen.

[0020] Die prätaktische Steuerungseinrichtung 1 ist zur Festlegung von Zielzeiten für Verkehrereignisse, insbesondere Starts und Landungen oder Passieren von Funkfeuern, einzelner Flugobjekte an den festgelegten Verkehrsknotenpunkten (Start-/Landebahn, Funkfeuer etc.) in einem das Verkehrereignis umfassenden, präaktischen mittelfristigen Steuerungszeithorizont im Bereich zwischen zwei bis drei Stunden und ca. 30 Minuten vor dem Verkehrereignis ausgebildet. Die Zielzeiten t_z werden dem taktischen Steuerungssystem 2 und optional auch dem strategischen Planungssystem 3 zur weiteren Planung und insbesondere Steuerung zugeführt.

[0021] Die Zielzeiten t_z werden dabei mindestens in Abhängigkeit der vorgegebenen Flugpläne FP, der Aktualisierungen der Flugpläne FP' und der Kapazitätsprognosen KAP(t) über die an dem Verkehrsknotenpunkt über die Zeit t abwickelbaren Verkehrskapazitäten so ermittelt, dass die Zielzeiten t_z die Verkehrereignisse an dem Verkehrsknotenpunkt hinsichtlich der Kapazität KAP unter Einhaltung der an dem Verkehrsknotenpunkt abwickelbaren Verkehrskapazitäten KAP(t), der Einhaltung der vorgegebenen Flugpläne FP und der Stabilität der Planung und Steuerung optimieren.

[0022] Auf der Basis vorher von der prätaktischen Steuerungseinrichtung 1 ermittelten Zielzeiten t_z werden von dem taktischen Steuerungssystem 2 voraussichtliche taktische Verkehrereigniszeiten t'_z für ein Verkehrereignis, wie zum Beispiel eine voraussichtliche Ankunftszeit ETA (Estimated Time of Arrival) oder voraussichtliche Abflugzeit ETD (Estimated Time of Departure) zugeführt, die dort als Basisgröße für die Optimierung der darauf folgenden Zielzeiten t_z weiterer Verkehrereignisse genutzt wird.

[0023] Die prätaktische Steuerungseinrichtung 1 kann auch genutzt werden, um durch Variation von Randbedingungen, insbesondere durch Verschiebung von Verkehrereignissen, verschiedene Situationen zu simulieren und hierdurch eine Optimierung der Abwicklung des Luftverkehrs zu erreichen.

[0024] Mit der prätaktischen Steuerungseinrichtung 1 wird erreicht, dass die Abflugzeiten an einem vorhergehenden Flughafen für ein Flugobjekt möglichst so ausgerichtet werden, dass eine verzögerungsfreie Abwicklung der Ankünfte bei ungestörten Flügen ermöglicht wird. Daher werden die Abflugzeiten am vorhergehenden Flughafen dynamisch aktualisiert und der jeweils neuen Situation angepasst. Die Steuerung des Luftverkehrs sollte somit mit Hilfe der prätaktischen Steuerungseinrichtung 1 auf einen Abflughafen eingreifen, um die Abwicklung an dem Ankunftsflughafen eines Flugobjekts zu optimieren.

[0025] Die prätaktische Steuerungseinrichtung 1 arbeitet grundsätzlich voll automatisch, wobei die über Schnittstellen gelieferten Daten in der Datenbank 7 organisiert und verwaltet werden.

[0026] Voraussichtliche Verkehrereigniszeiten ETA und ETD (Estimated Time of Arrival und Estimated Time of Departure) werden in den meisten Fällen für jeden Flug unabhängig von der Gesamtsituation ermittelt. Mit der Kenntnis der Gesamtsituation, insbesondere der Kapazität KAP(t) und den Anforderungen an Verkehrereignissen (Demand), werden die Verkehrereigniszeiten ETA, ETD entsprechend korrigiert. Dies gilt insbesondere für den Fall, dass die verfügbare Kapazität KAP(t) unter dem prognostizierten Anforderungen an Verkehrereignissen liegt. Die Anpassung erfolgt dabei basierend auf der aktuellen von der taktischen Steuerungssystem 2 festgelegten Frequenz von Verkehrereignissen.

[0027] Für jeden Flug wird von der prätaktischen Steuerungseinrichtung 1 eine Zielzeit t_z unter Beachtung von Optimierungsfunktionen basierend auf Informationen über

- prognostizierte Kapazität
- geplante Bahnzeit (Schedule-veröffentlichter Flugplan mit operationell notwendigen Anpassungen, Slot)
- geschätzte Bahnzeit (Estimate)

bestimmt und die Zielzeiten t_z dynamisch den veränderten Randbedingungen angepasst. Mit der jeweiligen Zielzeit t_z einhergehend werden von der prätaktischen Steuerungseinrichtung 1 auch die möglichen Zielzeiten Δt_z , z. B. TTL/TTG (Time to Lose, Time to Grain) bestimmt. Auch bei einer Mengensteuerung wird auf einzelne Flugzeuge steuernd eingegriffen, so dass die Mengensteuerung das zu erreichende Ziel ist, als Mittel aber alle Flüge auf Zielzeiten t_z hinarbeiten müsse.

[0028] Die Optimierung erfolgt anhand der folgenden Optimierungskriterien:

a) Durchsatz (Flow):

unter Berücksichtigung des optimalen Ankunfts-/Abflug-Arbeitspunktes

b) Planeinhaltung:

absolute Pünktlichkeit (bezogen auf veröffentlichten Flugplan)
Operative oder relative Pünktlichkeit (bezogen auf den Flugplan unter Berücksichtigung von Randbedingungen)
Sloteinhaltung

c) Planungsstabilität:

Minimale Änderung der Steuerungseingriffe zwischen mehreren Planungsergebnissen
Minimale Änderung der Zielzeiten t_z .

[0029] Bei der Optimierung nach dem Durchsatz wird

die maximale Anzahl von abgefertigtem Verkehr unter den gegebenen Randbedingungen angestrebt.

[0030] Bei der Optimierung nach der Planeinhaltung sind Vorgaben hinsichtlich der Gewichtung der An-
5 kunfts-/Abflugs(Arrival/Departure)-Planeinhaltung zu beachten.

[0031] Bei der absoluten Planeinhaltung wird die Ein-
haltung der im Flugplan veröffentlichten Schedule-Zeit
(positionsbezogen) mit einem Zeitfenster beispielsweise
10 von plus/minus 15 Minuten angestrebt. Die optimale
Planeinhaltung wird demnach erzielt, wenn alle Depar-
tures und Arrivals innerhalb des Zeitfensters Off- bzw.
On-Block gehen. Die absolute Planeinhaltung kann für
zu definierende Zeitintervalle sowohl als Prognose mit
der Differenz aus Estimate und Schedule und/oder der
15 Differenz aus Zielzeit und Schedule sowie als erreichter
Kennwert aus der Differenz aus aktuellem Wert und
Schedule bestimmt und berücksichtigt werden.

[0032] Weiterhin kann die relative Planeinhaltung bei
der Optimierung berücksichtigt werde, die aus der nach
Schedule operierenden Flügen und den in Slots einge-
20 teilten Flügen bestimmt wird. Bei der Aktualisierung von
Slots gilt als Grundlage für die Bestimmung der relativen
Planeinhaltung immer der aktualisierte Wert. Die relative
Planeinhaltung ist für zu definierende Zeitintervalle so-
wohl als Prognose als Differenz aus Estimate und Sched-
25 ule/Slot und/oder als Differenz aus Zielzeit und Sched-
ule/Slot sowie als erreichter Kennwert als Differenz aus
aktuellem Wert und Schedule/Slot zu bestimmen und zu
berücksichtigen.

[0033] Weiterhin kann eine operative Planeinhaltung
bei der Optimierung genutzt werden, die die Einhaltung
der von der prätaktischen Steuerungseinrichtung 1 ge-
planten Zielzeiten t_z (positionsbezogen) zu definierten
Zeitpunkten bewertet. Von der prätaktischen Steue-
30 rungseinrichtung 1 werden block- oder bahnbezogene
Zielzeiten t_z für alle Flüge optimiert bestimmt. Die Ziel-
zeiten t_z können von dem Fahrplan abweichen und wer-
den aufgrund veränderter Randbedingungen dynamisch
aktualisiert.

[0034] Mit der operativen Planeinhaltung wird ein Maß
für die Qualität der ermittelten Zielzeiten t_z geliefert. Sie
wird daher nicht als Prognose, sondern ausschließlich
als Kennwert zur nachträglichen Bewertung ermittelt. Die
operative Planeinhaltung wird aus der Differenz aus ak-
35 tuellem Wert ATA/ATD (Actual Time of Arrival, Actual
Time of Departure) und Zielzeit t_z (zu ausgewählten Zeit-
punkten t) und/oder als Differenz aus aktuellem Wert
ATA/ATD und Verkehrsereigniszeit (Estimate) zu aus-
gewählten Zeitpunkten t ermittelt. Der aktuelle Wert
40 ATA/ATD ist die tatsächlich erreichte Ankunfts- bzw. Ab-
flugszeit.

[0035] Bei der Optimierung nach der Planungsstabi-
lität wird angestrebt, dass auf ein einzelnes Verkehrsmittel
bezogen möglichst wenige Steuerungseingriffe erfolgen.

[0036] Bei der Optimierung werden zudem alle zum
jeweiligen Planungszeitpunkt vorliegenden oder prognos-
45 tisierten Randbedingungen berücksichtigt. Dies sind

beispielsweise die verfügbare Kapazität, Bahnkonfigu-
ration (Arrival/Departure/Gesamtkapazität), Betriebs-
verfahren (Wetterabhängigkeit), Bahnsperren (auch
temporär: Inspektion, Friktionstest, ...), zeitliche Abstände
5 aufeinanderfolgender Operationen (Sepereation für
Starts und Landungen), Sektorkapazität für Arrivals (AC/
Metering Fix), Lärmkontingente. Randbedingungen sind
weiterhin Zielzeitenfenster Δt_z , einzuhaltende, geplante
Zeitfenster Δt_s (Slots), bestätigte Off-Block-Zeit COB (ab-
10 geschätzte frühestmögliche blockbezogene Departure-
Zeit), voraussichtliche Verkehrsereigniszeiten, insbe-
sondere Estimated Time of Arrival ETA (abgeschätzte
frühestmögliche Ankunfts-Zeit) bzw. Estimated Time of
Departure ETD (abgeschätzte frühestmögliche Abflug-
15 zeit). Randbedingungen sind weiterhin äußere Kriterien,
wie die Positionsverfügbarkeit, die maximal verfügbare
Flugzeug-Verkehrsfläche und die maximal verfügbaren
Flugzeug-Taxiwege. Weitere Prozesszeiten können ge-
gebenenfalls ebenfalls berücksichtigt werden, sofern
20 diese in einem automatisierten System verfügbar sind.

[0037] Die Optimierung erfolgt durch Ermittlung eines
optimalen Arbeitspunktes für alle Zeitintervalle, d. h.
durch optimale Verteilung zwischen den Landungen und
Abflügen (Arrivals und Departures) im Hinblick auf ma-
ximalen Verkehrsfluss und maximale Planeinhaltung.
25 Dabei wird berücksichtigt, dass Anfragen an Verkehrs-
ereignisse (Demand), Kapazität KAP(t) und Arbeitspunkt
zeitveränderliche Größen sind.

[0038] Die Figur 2 lässt ein Diagramm zur automati-
schen Anpassung des Arbeitspunktes für einen Pla-
nungszeitpunkt erkennen. In dem Diagramm ist die Ab-
flugkapazität (Departure Capacity) über die Ankunftska-
30 paziät (Arrival Capacity) aufgetragen. Durch Berücksich-
tigung der Arrival/Departure-Kapazitätsverteilung und
des Demands wird ein aktueller Arbeitspunkt ermittelt.
Dabei ist es vorteilhaft, in einem Arrival-Peak die Arrivals
und in einem Departure-Peak die Departures mit der
höchsten Priorität zu behandeln. In dem Übergang von
einem Arrival-Peak in den Departure-Peak ist es sinnvoll,
40 die Priorisierung der Arrivals nicht plötzlich auf die Prio-
risierung der Departures umzuschalten, sondern diesen
Übergang der Anforderung bzw. der Planeinhaltung an-
zupassen und die Priorisierung der Departures langsam
aufzubauen. Aus dem Arbeitspunkt ist dann die verfüg-
bare optimale Lande- und Startkapazität festgelegt, die
hinsichtlich der Planeinhaltung und der Nachfrage (De-
45 mand) an Verkehrsereignissen optimiert sind. Die Ver-
kehrsereignisse können dann durch Zuweisung von Ziel-
zeiten t_z auf diese bestimmten Kapazitäten aufgeteilt
werden.

[0039] Die Figur 3 lässt ein Diagramm zur Darstellung
der von der prätaktischen Steuerungseinrichtung festge-
legten Zielzeiten für ein Flugzeug sowie der taktischen
Verkehrsereigniszeiten ETA, Zielzeitfenster Δt_z und
50 Slots Δt_s erkennen.

[0040] Für jedes Flugzeug DLH123, AOL26, DLH345
mit zugehörigem Verkehrsereignis, zum Beispiel den
Start des Flugzeuges DLH123, ist die Verkehrsereignis-

zeit t_{FP} festgelegt. In einem strategischen Planungssystem 3 wird bis circa zwei bis drei Stunden vor Abflug ein Slot Δt_S vergeben, innerhalb dem die geplante Verkehrsereigniszeit t_{FP} liegt. Die geplante Verkehrsereigniszeit t_{FP} (Schedule, Flugplanzeit) kann sich später durch äußerer Ereignisse, wie beispielsweise Verspätungen anderer Flieger, Kapazitätsverschiebung bei der Abfertigung auf der Start-/Landebahn und den Terminal sowie Verspätungen von Fluggästen, sowie technische Probleme verschieben.

[0041] Mittelfristig in einem Steuerungszeithorizont von zwei Stunden bis circa 30 Minuten vor Abflug wird den Flugzeugen eine Zielzeit t_Z für den Abflug zugeordnet, die die in dem mittelfristigen Steuerungszeithorizont bekannten Randbedingungen des Flughafens berücksichtigt und hinsichtlich der verfügbaren Verkehrskapazitäten auf der Start-/Landebahn, der Planeinhaltung der Flugpläne FP sowie der Planstabilität optimiert sind. Hierbei werden Zielzeitfenster Δt_Z festgelegt, innerhalb der eine Verschiebung der Abflugzeiten und Zielzeiten t_Z erfolgen kann. Die Zielzeitfenster Δt_Z dienen dazu, um eine Auswahl treffen zu können, welche Flugzeuge in einem Planungsintervall zu berücksichtigen sind und um die für diese Flugzeuge innerhalb des Planungsintervalls dann zu optimieren.

[0042] Mit der Steuerung werden dann Kapazitätsengpässe beseitigt und die vorhandene Kapazität optimal an die Anfragen an Verkehrsereignisse angepasst.

Patentansprüche

1. Prätaktische Steuerungseinrichtung (1) zur Verkehrssteuerung, die zur Verbindung mit einem taktischen Steuerungssystem (2) zur Zuweisung von Verkehrsereigniszeiten vorgesehen ist, die von Verkehrsmitteln an festgelegten Verkehrsknotenpunkten einzuhalten sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** die prätaktische Steuerungseinrichtung zur Festlegung von Zielzeiten (t_Z) für Verkehrsereignisse einzelner Verkehrsmittel an den festgelegten Verkehrsknotenpunkten in einem prätaktischen Steuerungszeithorizont ausgebildet ist, der größer als ein taktischer Steuerungszeithorizont des taktischen Steuerungssystems (2) ist und die mindestens eine zugewiesene Verkehrsereigniszeit umfasst, wobei die Zielzeiten (t_T) mindestens in Abhängigkeit von vorgegebenen Verkehrsplänen (FP), von Aktualisierungen der Verkehrspläne (FP') und von Prognosen über die an einem Verkehrsknotenpunkt über die Zeit abwickelbaren Verkehrskapazitäten (KAP(t)) so ermittelt werden, dass die Zielzeiten (t_Z) die Verkehrsereignisse an dem Verkehrsknotenpunkt hinsichtlich der Kapazität unter Einhaltung der an einem Verkehrsknotenpunkt abwickelbaren Verkehrskapazitäten (KAP(t)), der Einhaltung der vorgegebenen Verkehrspläne (FP) und der Stabilität der Planung und Steuerung optimieren, dass eine Schnitt-

stelle zu dem taktischen Steuerungssystem (2) vorhanden ist, die Zielzeiten (t_Z) als auf Prognosen basierende optimierte Steuerungsparameter in das taktische Steuerungssystem (2) zu führen, und dass eine Schnittstelle zu einem strategischen Planungssystem (3), zur Festlegung von Zeitfenstern (Δt_S) für Verkehrsereignisse von Verkehrsmitteln an einem Verkehrsknotenpunkt in einem strategischen Vorausplanungszeithorizont, der größer als der prätaktische Steuerungszeithorizont ist und die mindestens eine zugewiesene Verkehrsereigniszeit umfasst, vorhanden ist, um die von der prätaktischen Steuerungseinrichtung (1) festgelegten Zielzeiten (t_Z) in das strategische Planungssystem (3) als Planungseingangsgröße zu führen.

2. Prätaktische Steuerungseinrichtung (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schnittstelle zu dem taktischen Steuerungssystem (2) zur Rückführung einer voraussichtlichen taktischen Verkehrsereigniszeit (ETA/ETD - Estimated Time of Arrival/Departure) für ein Verkehrsereignis, die in Abhängigkeit von den Zielzeiten (t_Z) bestimmt wurde, an die prätaktische Steuerungseinrichtung (1) als Basisgröße für die Optimierung der darauf folgenden Zielzeiten (t_Z) weiterer Verkehrsereignisse vorgesehen ist.

3. Prätaktische Steuerungseinrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche zur Steuerung des Luftverkehrs, insbesondere der Starts und Landungen als Verkehrsereignisse von Flugzeugen als Verkehrsmittel auf einer Start- / Landebahn als Verkehrsknotenpunkt eines Flughafens, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zielzeiten (t_Z) durch zeitliche Aneinanderreihung der Verkehrsereignisse der Flugzeuge optimiert zur Auslastung der Kapazität unter Berücksichtigung von Staffelnabständen, von Kapazitätsprognosen (KAP(t)) und von Nachfragen an Verkehrsereignissen (DEMAND) bestimmt werden.

4. Prätaktische Steuerungseinrichtung (1) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die prätaktische Steuerungseinrichtung (1) zur Festlegung der Zielzeiten (t_Z) in Abhängigkeit von aktuellen oder prognostizierten Wetterbedingungen eingerichtet ist.

5. Prätaktische Steuerungseinrichtung (1) nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die abwickelbaren Verkehrskapazitäten (KAP(t)) wetterabhängig bestimmt werden.

6. Prätaktische Steuerungseinrichtung (1) nach einem der Ansprüche 3 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Verkehrsknotenpunkt zur Berechnung der Zielzeiten (t_Z) auf eine Schwelle der Start- / Lande-

bahn bezogen ist und die Planeinhaltung der vorgegebenen Verkehrspläne (FP) bezogen auf einen Abfertigungsstandplatz für das jeweilige Flugzeug zur Optimierung der Zielzeiten (t_z) bewertet wird, wobei die prätaktische Steuerungseinrichtung zur Umrechnung der Planeinhaltung auf die Schwelle mittels Taxizeiten (t_{TAXI}) und / oder Enteisungszeiten (t_{DE-ICE}) für die Flugzeuge eingereicht ist.

Claims

1. Pre-tactical control facility (1) for traffic control, which is intended for connection to a tactical control system (2) for assignment of traffic event times which must be complied with by vehicles at defined traffic nodes, **characterized in that** the pre-tactical control facility is designed to define target times (t_z) for traffic events of individual vehicles at the defined traffic nodes in a pre-tactical control time period which is greater than a tactical control time period of the tactical control system (2) and includes the at least one assigned traffic event time, with the target times (t_T) being determined at least as a function of predetermined traffic plans (FP), of updates to the traffic plans (FP') and of prediction about the traffic capacities (KAP(t)) which can be handled over time at a traffic node, such that the target times (t_z) optimize the traffic events at the traffic node in terms of the capacity while maintaining the traffic capacities (KAP(t)) which can be handled at a traffic node, maintaining the predetermined traffic plans (FP) and the stability of the planning and control, and that an interface to the tactical control system (2) is provided for passing the target times (t_z) as control parameters being optimized based on predictions to the tactical control system (2), that an interface to a strategic planning system (3) is provided for definition of time windows (Δt_s) for traffic events of vehicles at a traffic node in a strategic prior-planning time period, which is greater than the pre-tactical control time period and includes at least one assigned traffic event time for passing the target times (t_z) defined by the pre-tactical control facility (1) to the strategic planning system (3), as a planning input variable.
2. Pre-tactical control facility (1) as claimed in claim 1, **characterized in that** the interface to the tactical control system (2) for feeding back an estimated tactical traffic event time (ETA/ETD-Estimated Time of Arrival/Departure) for a traffic event, which has been determined as a function of the target times (t_z), to the pre-tactical control facility (1) as a basic variable for optimization of the subsequent target times (t_z) of further traffic events.
3. Pre-tactical control facility (1) as claimed in one of the preceding claims for control of air traffic, in par-

ticular of the takeoffs and landings as traffic events of aircraft as vehicles on a runway as a traffic node at an airport, **characterized in that** the target times (t_z) are optimized by arranging the traffic events of the aircraft in time sequence for utilization of the capacity taking into account stagger intervals, capacity predictions (KAP(t)) and demand for traffic events (DEMAND).

4. Pre-tactical control facility (1) as claimed in claim 3, **characterized in that** the pre-tactical control facility (1) is provided for defining the target times (t_z) as a function of actual or predicted weather conditions.
5. Pre-tactical control facility (1) as claimed in claim 4, **characterized in that** the processable traffic capacities (KAP (t)) are determined dependent on the weather.
6. Pre-tactical control facility (1) as claimed in one of the claims 3 to 5, **characterized in that** the traffic node used to calculate the target times (t_z) is related to a runway threshold and that the compliance of the predetermined traffic plans (FP) with the plan is assessed relative to the preparation stand for the respective aircraft for optimization of the target times (t_z), wherein the pre-tactical control facility is provided for conversion of plan compliance to the threshold by means of taxi times (t_{TAXI}) and/or deicing times (t_{DE-ICE}) for the aircrafts.

Revendications

1. Dispositif de pilotage pré tactique (1) pour piloter le trafic, prévu pour être en liaison avec un système de pilotage tactique (2) pour allouer des instants d'événement du trafic à respecter par des moyens de transport à des noeuds du trafic définis, **caractérisé en ce que** le dispositif de pilotage pré tactique est conçu pour définir des instants ciblés (t_z) pour des événements du trafic de moyens de transport individuels aux noeuds du trafic définis, dans un horizon temporel de pilotage pré tactique qui est supérieur à un horizon temporel de pilotage tactique du système de pilotage tactique (2) et qui comprend au moins un instant alloué à un événement du trafic, les instants ciblés (t_T) étant établis au moins en fonction de plans du trafic (FP) fixés, d'actualisations des plans du trafic (FP'), et de pronostics sur les capacités de trafic (KAP(t)) développables sur la période à un noeud du trafic, de façon que les instants ciblés (t_z) optimisent les événements du trafic au noeud du trafic relativement à la capacité sous respect des capacités de trafic (KAP(t)) développables à un noeud du trafic, du respect des plans du trafic (FP) fixés et de la stabilité de la planification et du pilotage, **en ce qu'il** existe une interface avec le système de

- pilotage tactique (2) pour introduire dans le système de pilotage tactique (2) les instants ciblés (t_z) en tant que paramètres de pilotage optimisés se basant sur des pronostics, et **en ce qu'il** existe une interface avec un système de planification stratégique (3) pour allouer des fenêtres temporelles (Δt_s) à des événements du trafic de moyens de transport à un noeud du trafic dans un horizon temporel de planification préalable stratégique qui est plus long que l'horizon temporel de pilotage prétactique et qui comprend au moins un instant alloué à un événement du trafic, pour introduire en tant que grandeur d'entrée de planification, dans le système de planification stratégique (3), les instants ciblés (t_z) définis par le dispositif de pilotage prétactique (1). 5 10 15
2. Dispositif de pilotage prétactique (1) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'interface avec le système de pilotage tactique (2) est prévue pour que l'instant d'un événement du trafic tactique prévisionnel (ETA/ETD- Estimated Time of Arrival/ Departure) concernant: un événement du trafic, qui avait été déterminé en fonction des instants ciblés (t_z), soit renvoyé au dispositif de pilotage prétactique (1), en tant que grandeur de base pour l'optimisation des instants ciblés (t_z) suivants relatifs à d'autres événements du trafic. 20 25
3. Dispositif de pilotage prétactique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, pour piloter le trafic aérien, en particulier le décollage et l'atterrissage, en tant qu'événements du trafic, d'avions en tant que moyens de transport, sur une piste de décollage/ atterrissage en tant que noeud du trafic d'un aéroport, **caractérisé en ce que** les instants ciblés (t_z) sont déterminés de façon optimisée par juxtaposition temporelle des événements du trafic des avions, pour exploiter la capacité en considérant des distances d'échelonnement, de pronostics de capacité (KAP(t)) et des demandes d'événements du trafic (DEMAND). 30 35 40
4. Dispositif de pilotage prétactique (1) selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** le dispositif de pilotage prétactique (1) est établi pour définir les instants ciblés (t_z) en fonction de conditions météorologiques actuelles ou pronostiquées. 45
5. Dispositif de pilotage prétactique (1) selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** les capacités de trafic (KAP(t)) développables sont déterminées en fonction de la météo. 50
6. Dispositif de pilotage prétactique (1) selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, **caractérisé en ce que** le noeud du trafic est associé à un seuil de la piste de décollage/ atterrissage pour calculer les instants ciblés (t_z), et le respect des plans du trafic (FP) 55

prédéterminés est évalué en référence à un emplacement d'enregistrement pour chaque avion, pour optimiser les instants ciblés (t_z), le dispositif de pilotage prétactique étant conçu pour convertir le respect du plan en seuil pour les avions, au moyen de temps de trajet au sol (t_{TAXI}) et/ou de temps de dégivrage (t_{DE-ICE}).

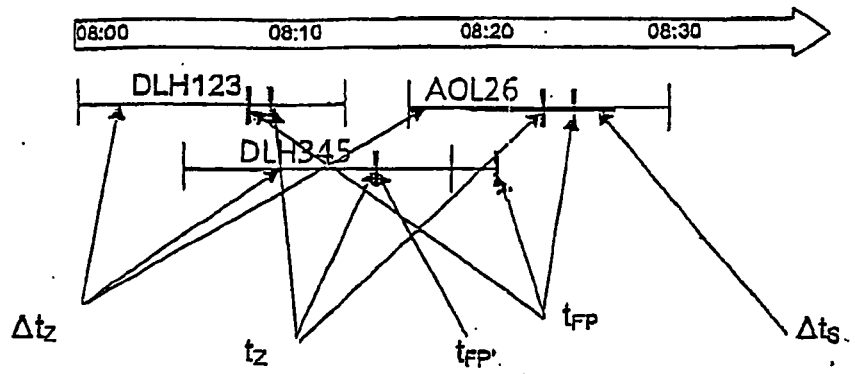


Fig. 3

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 5265023 A [0005]