AMDB ERWEITERUNG ZUR UNTERSTÜZUNG VON TAXI GUIDANCE FUNKTIONEN (eAMDB)

G. Heidelmeyer, A. Sindlinger, U. Klingauf
Technische Universität Darmstadt, D-64287 Darmstadt
Fachgebiet Flugsysteme und Regelungstechnik (FSR)

ÜBERSICHT

Mit der Einführung von Taxi-Applikationen in moderne Cockpits (z.B. Airbus A380, Boeing 777) steigt neben der heute vorhandenen Möglichkeit zur Anzeige der aktuellen Flugzeugposition auf einem Flughafen auch die Nachfrage nach einer Funktionalität zur Routenberechnung. Dies bietet den Vorteil, daß nicht nur die momentane Position eines Flugzeuges dargestellt werden kann, sondern sich der gesamte Rollweg planen und betrachten läßt. Mit Hilfe einer entsprechenden Funktionalität können unterschiedliche Anwendungsfälle bedient werden. Dies geht über die einfache Visualisierung von Rollanweisungen der ATC auf dem Display (Cockpit) bis hin zu einer Berechnung der effektivsten (schnellsten, kürzesten) Route zwischen beliebigen Positionen (z.B. Runway to Gate). Desweiteren kann auf der Basis der Routenberechnung eine Konflikterkennung zwischen mehreren Flugzeugen durchgeführt und „Runway Incursions“ vorgebeugt werden (Flugsicherung).

Eine Rollwegberechnung läßt sich jedoch mit Flughafendatenbanken (Aerodrome mapping database, AMDB), die nach der gültigen Spezifikation (RTCA/DO-272a, EUROCAE ED-99a) erstellt wurden, nur bedingt implementieren. Das liegt daran, daß hierbei eine naturgetreue Abbildung des Flughafens angestrebt wird, die operationellen Ansprüchen nicht immer genügt. Das bedeutet, daß eventuelle Lücken zwischen Taxilinien auch als solche in einer AMDB dargestellt werden und eine Konnektivität somit nicht mehr gewährleistet ist. Um eine konsistente Abbildung des Taxiwegenetzes eines Flugplatzes zu erreichen, die eine robuste und effiziente Handhabung im Rechner gerade zur Routenberechnung und Anzeige ermöglicht, sich aber trotzdem an der realen Geometrie der Taxiwege orientiert, wurde am Fachgebiet Flugsysteme und Regelungstechnik (FSR) der TU Darmstadt das geometrisch-logische Taxiwegenetz entwickelt (siehe BILD 1).

Dieses stellt eine Erweiterung zum gültigen Standard der DO-272/ED-99 dar und kann als zusätzliches Element zu bestehenden AMDBs hinzugefügt werden, ohne die Konformität zur Spezifikation zu verletzen.

1. GRUNDLAGEN

In der zivilen Luftfahrt gewinnen Flughafendatenbanken immer mehr an Bedeutung. Ihren Einsatz finden sie derzeit hauptsächlich in Flughafen „Moving Map“ Applikationen, welche das Situationsbewußtsein der Piloten auf großen bzw. unbekannten Flughäfen erhöhen sollen.

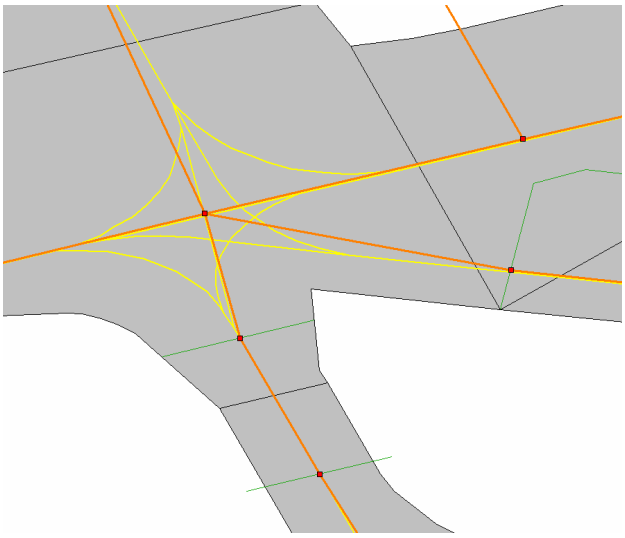

BILD 1. Beispiel eines geometrisch-logischen Taxiwegenetzes

Erste Produkte sind bereits auf dem Markt und entsprechende Anwendungen werden über kurz oder lang zur Standardausrüstung von modernen Airlinern gehören. Die meisten dieser Applikationen werden auf sogenannten „Side Displays“ betrieben werden. Erst mit dem „Onboard Airport Navigation System“ (OANS), das erstmals im Airbus A380 realisiert wird, wird eine entsprechende Applikation auch auf dem Navigationsdisplay zu sehen sein. Somit müssen Flughafendaten unbedingt den kritischen Avionikdaten zugeordnet werden und unterliegen folglich besonderen Sicherheitsansprüchen. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, war es notwendig, eine verbindliche Spezifikation für Flughafendatenbanken zu verabschieden. Die Anforderungen, die an eine AMDB gestellt werden, sind in den Dokumenten RTCA DO-272 / EUROCAE ED-99 (User Requirements for Aerodrome Mapping Information) festgelegt, welche unter der Schirmherrschaft der RTCA und EUROCAE in Zusammenarbeit mit der internationalen Luftfahrtindustrie sowie Forschungseinrichtungen erarbeitet wurden. Mittlerweile liegt dieser Industriestandard in einer überarbeiteten zweiten Version als Dokument „RTCA DO-272a/EUROCAE ED-99a“ vor, in der die Formate sowie der Informationsgehalt weiter präzisiert wurden.

Ziel dieser Spezifikation ist es, für den Datenerzeuger und -nutzer einheitliche Anforderungen an die Inhalte sowie die dazugehörigen Generierungsprozesse zu definieren. Auch werden die Ansprüche an Genauigkeit, Auflösung und Integrität exakt beschrieben, um eine einheitliche und sichere Grundlage des Datenmaterials zu erreichen. Auf

diesem Wege soll eine gleichbleibende Qualität auch bei wechselnden Anbietern sichergestellt werden.

1.1. Inhalte einer Flughafendatenbank

Die nach der derzeit gültigen DO-272(a)/ED-99(a) Spezifikation generierten Flughafendatenbanken beinhalten sämtliche Elemente, die zur Beschreibung eines Flughafens für Avionik-Anwendungen notwendig sind. Dies sind zum einen die auf den Flug- und den Rollbetrieb direkt Einfluß nehmenden Objekte wie Start- und Landebahnen, Taxiwege, Standflächen etc. Aber auch Elemente, die sich indirekt auf die Sicherheit der Operationen auf dem Flugfeld auswirken, wie Hindernisse (Obstacles), werden abgebildet. Als Hindernisse werden Objekte verstanden, die eine vertikale Ausdehnung aufweisen (z.B. Gebäude, Lichtmasten etc.). Direkt auf einem Flugplatz können dies je nach Lage Elemente sein, die bereits eine Höhe von 50 cm überschreiten.

Zur Darstellung einer AMDB werden insgesamt 32 für den operationellen Betrieb wichtige Objektklassen beschrieben. Sofern diese auf einem Flugplatz vorgefunden werden, müssen sie der Spezifikation konform in eine AMDB aufgenommen werden.

1.2. Datenerzeugung und -verwaltung

Da in der Spezifikation zur Erstellung einer AMDB der Datenbankinhalt sowie die Ansprüche an Genauigkeit, Auflösung und Integrität, die von besonderer Kritikalität sind, definiert werden, muß eine einheitliche und sichere Grundlage des Datenmaterials erreicht werden. Dadurch werden besondere Ansprüche an die Generierungsprozesse gestellt. Als geeignetes Verfahren hat sich hierbei die Auswertung von Luft- bzw. Satellitenbildern erwiesen. Die Geometrien der relevanten Objekte werden aus georeferenzierten Bildern extrahiert und in ein GIS (Geographisches Informationssystem) überführt. Ein GIS ist ein (Datenbank-)System, welches raumbezogene Daten digital erfaßt und diese mit alphanumerischen Informationen verknüpft. Die einzelnen Objekte werden durch geometrische Formen beschrieben. Je nach Charakteristik des Elementes können diese als Punkte, Linienzug oder auch als Polygon dargestellt werden. Zusätzliche (alphanumerische) Informationen, die diese Objekte beschreiben, werden für jedes Objekt in Form von Attributen angehängt. Attribute werden in einem tabellarischen System gespeichert und über einen Index mit der dazugehörigen Geometrie verknüpft (BILD 2).

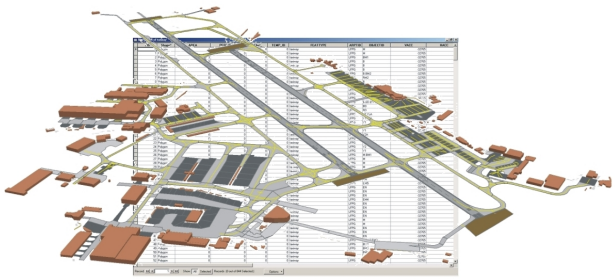

BILD 2. Flughafendatenbank mit Attributentabelle

Informationen, die nicht mittels Methoden der Fernerkundung ermittelbar sind, müssen mit Hilfe von offiziellen Publikationen (z.B. AIP-Aviation Information Publication), wie auch kommerziellen Veröffentlichungen (z.B. Jeppesen Charts etc.) bestimmt werden.

Generell gliedert sich der gesamte Ablauf der Generierung einer Flughafendatenbank in folgende Schritte:

- Akquirierung des digitalen Bildmaterials
- Ermittlung von Paßpunkten zur exakten Geo-Referenzierung der Bilder
- Extraktion der Geometrien der Flughafenobjekte aus dem Bildmaterial
- Einfügen der Attribute

Sind alle oben aufgeführten Arbeitschritte durchgeführt, liegt die generierte Flughafendatenbank in einem GIS-Format vor und erfüllt alle an die Genauigkeit, Integrität und Vollständigkeit geforderten Vorgaben. Auf Basis dieser Datengrundlage kann eine echtzeitfähige „Airport Navigation Function“ betrieben werden.

2. PROBLEMSTELLUNG

Da die Spezifikation zur Erstellung von Flughafendatenbanken DO-272(a)/ED-99(a) schwerpunktmäßig beabsichtigt, eine originalgetreue Abbildung des Flughafens wiederzugeben, wird angestrebt, alle Elemente der Wirklichkeit entsprechend abzubilden. Hierbei spielt es keine Rolle, ob dies operationell hilfreich oder sinnvoll ist. Eine Lücke in Taxiweglinien wird auch als solche dargestellt. In einfachen Moving Map-Applikationen zur Erhöhung des Situationsbewußtseins des Piloten sind Informationen, wie sie derzeit in einer AMDB bereitgehalten werden, vollkommen ausreichend und auch notwendig. Der Pilot bekommt seine aktuelle Situation auf dem Flughafen angezeigt und muß sich selbständig orientieren. Hierzu ist die optische Identität einer AMDB auf dem Display zur Wirklichkeit unablässig.

An zukünftige Taxi-Applikationen werden jedoch weitergehende Anforderungen gestellt. Eine geforderte Unterstützung ist hierbei die Funktionalität zur Berechnung einer Route. Sind beispielsweise Start und Endpunkt eines Rollvorganges bekannt, kann unter der Berücksichtigung bestimmter Randbedingungen der effektivste bzw. schnellste Weg berechnet werden. Diese Art der Routenplanung ist in PKW-Navigationssystemen schon lange etabliert und sowohl Applikation wie auch Datenbanken sind an diese Anforderungen angepaßt. AMDBs, wie sie heute erstellt werden, sind nur mit sehr großen Einschränkungen für solche Anwendungen geeignet, da die Bestimmung eines logischen Zusammenhangs zwischen den befahrbaren Elementen auf dem Flugplatz nicht ohne weiteres möglich ist. Um dieser Problematik zu entgehen und künftigen Applikationen zur Routenberechnung auf Flughäfen gerecht zu werden, bedarf es einer Erweiterung der Datenbanken, die diese Funktionalität anbietet ohne dabei den gültigen Standard zu verletzen. Aus diesem Grund verfolgt das Institut für Flugsysteme und Regelungstechnik an der Technischen Universität Darmstadt den Ansatz, die derzeitigen AMDBs durch ein „geometrisch-logisches Taxiwegenetz“ zu erweitern.

3. ANFORDERUNGEN AN EINE AMDB-ERWEITERUNG ZUR VEREINFACHTEN ROUTENBERECHNUNG

3.1. Rollwegeelemente einer AMDB

Die zentralen Elemente eines AMDB Rollwegenetzes sind zum einen die Taxiwegsegmente und zum anderen die Taxilinien. Ebenfalls von Bedeutung während eines Rollvorganges sind Start- und Landebahnen sowie die Standflächen/Parkpositionen der Flugzeuge.

Die Taxiwegsegmente beschreiben die Geometrien der einzelnen Taxiwegabschnitte in Form von Polygonzügen. Die dazugehörigen Attribute beinhalten unter anderem Informationen bezüglich des Namens eines Taxiweges. Taxilinien bilden die Führungslinien, wie sie in Wirklichkeit vorgefunden werden, als Linienzug ab. Taxilinien erhalten ebenfalls die Namen des dazugehörigen Taxiweges über die Attribute. Namen und Eigenschaften der Start- und Landebahnen sowie der Standflächen können ebenfalls in der Flughafendatenbank abgefragt werden.

Da, wie bereits erwähnt, alle Geometrien der Elemente in einer AMDB ein Abbild der Realität darstellen müssen, können notwendige Informationen für die Berechnung von logischen Zusammenhängen lückenhaft sein oder liegen in der Datenbank ohne menschliche Interpretation gar nicht vor. Wollte man mit einer spezifikationskonformen Datenbank sinnvolle und mögliche Rollwege berechnen, müßte man das Taxiwegenetz durch komplexe Analysen der Konnektivitäten von sowohl Taxiwegsegmenten als auch Taxilinien rekonstruieren.

3.2. Auswirkungen auf die Routenberechnung

Um die Verarbeitung der Informationen im Rechner zu vereinfachen, werden Taxiwege in signifikante Elemente unterteilt. Typischerweise werden Elemente zwischen zwei Kreuzungen als einzelne Elemente abgebildet. Nach den Abbildungsregeln der DO-272(a)/ED-99(a) soll ein Kreuzungselement „den Namen des vorherrschenden Taxiweges“ erhalten. In der Praxis kann dies allerdings zu Problemen führen, beispielsweise wenn sich zwei oder mehr Taxiwegkreuzungen berühren. Bild 3 zeigt einen Fall, in dem der Taxiweg D nicht mehr eindeutig verfolgt werden kann, da die Taxiwegkreuzungen nach den jeweils anderen Taxiwegen benannt sind.

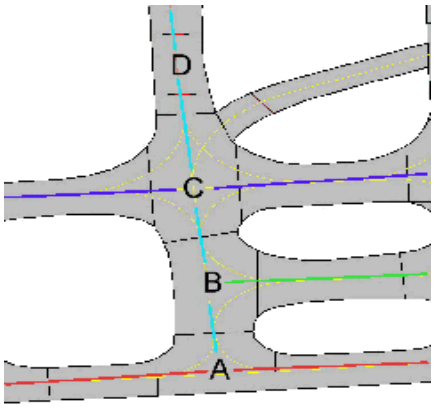

BILD 3. Zuordnung von Taxiwegsegmenten

Ebenfalls als nachteilig für die Routenberechnung wirkt sich die Empfehlung der DO-276(a)/ED-99(a) in Bezug auf die Generierung von Taxilinien aus. Laut Spezifikation soll eine Taxilinie als gerade oder gekrümmte Linie zwischen den Kreuzungen von zwei Taxilinien ausgeführt werden, wobei die Start- und Endpunkte der einzelnen Linien identisch sein sollen, um die Konnektivität zu gewährleisten. In der Praxis werden allerdings die Taxilinien beim Erstellen auch an den Taxiwegsegmenten unterbrochen und nach dem Taxiwegsegment, auf dem sie liegen, benannt. Dies führt zu einem sehr unübersichtlichen und schwer zu verarbeitenden Taxiliniennetzwerk. Im folgenden Beispiel (Bild 4) stellen die grünen Punkte jeweils die Anfangs- bzw. Endknoten der einzelnen Taxilinien dar.

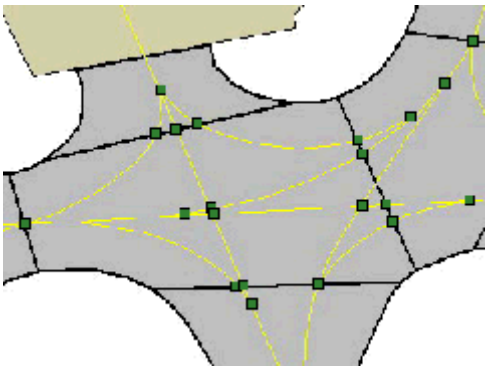

BILD 4. Segmentierung der Taxilinien

Festzuhalten gilt, daß für eine Applikation zur Unterstützung des Situationsbewußtseins die AMDB Taxiwegrepräsentation durchaus ausreicht. Für eine Applikation zur Routenplanung bzw. Routenanzeige bedeutet diese Struktur jedoch einen enormen Rechenaufwand, um zusammenhängende Taxilinien und Taxiwegsegmente zu detektieren oder - in Extremfällen - zu rekonstruieren. In Ausnahmefällen ist eine eindeutige Zuordnung der Rollweginformationen überhaupt nicht möglich.

4. GEOMETRISCH-LOGISCHES TAXIWEGE-NETZ

Indem sich das geometrisch-logische Taxiwegenetz an der realen Geometrie der Taxiwege orientiert, ermöglicht es eine konsistente Abbildung des Rollwegenetzes eines Flugplatzes. Zugleich bietet es eine robuste und effiziente Handhabung im Rechner zur Routenberechnung und Routenanzeige. Dieses stellt eine Erweiterung zum gültigen RTCA/EUROCAE Standard dar und kann bei Bedarf existierenden AMDBs hinzugefügt werden, ohne die Konformität zur Spezifikation zu verlieren.

Das geometrisch-logische Taxiwegenetz beruht auf Knoten - den TaxiNodes - und Verbindungslinien zwischen diesen Knoten - den TaxiNet Elementen. Dabei reduziert sich das gesamte Taxiwegenetz auf die (virtuellen) Mittellinien der Taxiwege, Start- und Landebahnen sowie der Standflächen.

Aufgaben wie die Planung einer Taxiroute lassen sich mathematisch sinnvoll mit den Methoden der Graphentheorie lösen. Hierbei wird das Wegenetz als kantengewichtete Graphen modelliert und mit Hilfe des Algorithmus von Dijkstra kann effizient der kürzeste Weg berechnet werden. Kantengewichtete Graphen sind dabei

eine Menge von Punkten (in der Theorie Knoten oder Ecken) zwischen denen Linien verlaufen (Kanten). Im geometrisch-logischen Taxiwegenetz sind dies die TaxiNodes und TaxiNet-Elemente [4] [5].

Um alle notwendigen Informationen in dem Taxiwegenetz transportieren zu können, müssen TaxiNodes an folgenden signifikanten Punkten eingefügt werden:

- Kreuzungen von Taxiwegen,
- Kreuzungen von Start- und Landebahnen mit Taxiwegen (bzw. den Landebahnausfahrtswegen),
- Kreuzungen von Taxiwegen mit Haltelinien,
- Kreuzungen von Standlinien mit Taxiwegen und
- Standpositionen.

Die TaxiNodes werden schließlich durchnumeriert und enthalten Informationen über die Art des Knotens (Haltelinie, Taxiweg etc.). Ebenfalls werden Angaben über operationelle Randbedingungen wie Rollbeschränkungen (Richtungsbeschränkungen, Abbiegebeschränkungen etc.) abgelegt. All diese Informationen werden in der Attributtabelle den Knoten zugeordnet.

Diese charakteristischen Knotenpunkte werden mit TaxiNet-Elementen verbunden. Diese Elemente sind Linienzüge, die so einfach wie möglich gehalten werden sollen, dabei jedoch die Geometrie der realen Rollwegmarkierungen (sofern vorhanden) vereinfacht abbilden.

Über die dazugehörigen Attribute enthalten die TaxiNet-Elemente schließlich die notwendigen Informationen über die Start- und Endknoten sowie den Namen des dazugehörigen Elements (Taxiweg, Start- Landebahn etc.). Da die Informationen der Benamung ausschließlich über die TaxiNet-Elemente transportiert werden, können an den Kreuzungsknoten keine Irritationen über eine korrekte Namensgebung entstehen. Es wird nur die Verknüpfung der folgenden Knoten betrachtet.

Die praktische Umsetzung soll schließlich an zwei Beispielen dargestellt werden.

4.1. Connection Exeptions

In einem ersten Beispiel soll die Implementierung der Rollbeschränkungen anhand der „Connection Exception“ (CONEXEPT) erklärt werden.

Da auf dem Flughafen nicht alle markierten Rollwege ohne weiteres während eines Rollvorganges abgefahren werden können, müssen diese Ausnahmen explizit herausgearbeitet werden. Betrachtet man das Beispiel in BILD 5, kann man ohne größeres operationelles Verständnis eines Rollvorganges sofort erkennen, daß einige der Wege aufgrund ihrer engen Radien für ein Flugzeug nicht befahrbar sind.

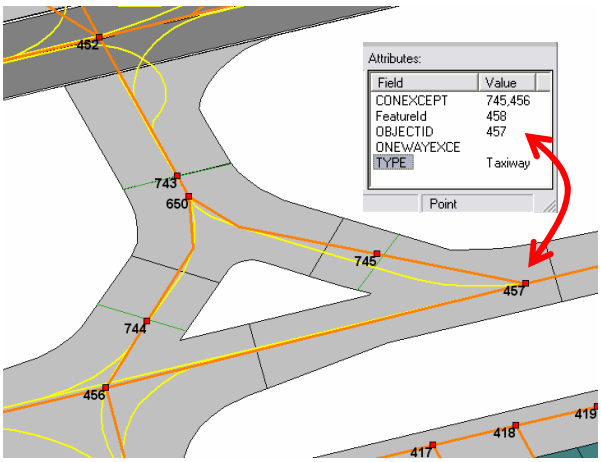

BILD 5. Beispiel einer „Connection Exception“

Diese Tatsache läßt sich ebenfalls an den Taxiwegmarkierungen erkennen. Da diese Informationen in der vorliegenden Form stets einer menschlichen Interpretation bedürfen, mußte eine maschinenlesbare Implementierung der Informationen in der Datenbank erfolgen.

Um eine einfache und sichere Umsetzung zu erlangen, werden, wenn nötig, für jeden Knoten die Knotenpaare gespeichert, welche in der Routenplanung über den ausgewählten Knoten nicht miteinander verbunden werden können. In dem gezeigten Beispiel kann ausgehend von Knoten #745 nicht über Knoten #457 nach Knoten #456 oder umgekehrt gefahren werden. Alle anderen Knotenkombinationen sind an dieser Kreuzung fahrbar.

Wird also in der Applikation ein Baum der Konnektivtäten erzeugt, können durch die Abfrage der gespeicherten Ausnahmeinformationen unbefahrbare Routen sofort verworfen werden.

4.2. Oneway Exeptions

Eine weitere Darstellung von Rollwegausnahmen sind die „Oneway Exeptions“. Diese behandeln die klassischen Formen von Einbahnstrassen. Auch wenn Routen technisch umsetzbar wären, können durchaus auch andere Gründe für eine Beschränkung der Rollwege existieren.

Betrachtet man das Beispiel in BILD 6, sieht man Standflächen für Flugzeuge, die durch Ihre Form vorgeben, in welcher Richtung das Flugzeug abgestellt werden soll. Möchte man nun von Knoten #229 auf den Stellplatz, symbolisiert durch Knoten #228 auffahren, wird dieser Vorgang durch die „Oneway Exeption“ in der Datenbank unterbunden. Soll der Knoten dennoch erreicht werden, muß schließlich eine Alternative gefunden werden, die den Knoten #229 nicht direkt mit dem Knoten #228 verbindet. Eine mögliche Route wäre somit, über die Knoten #225, 206, 223 zum Ziel zu gelangen.

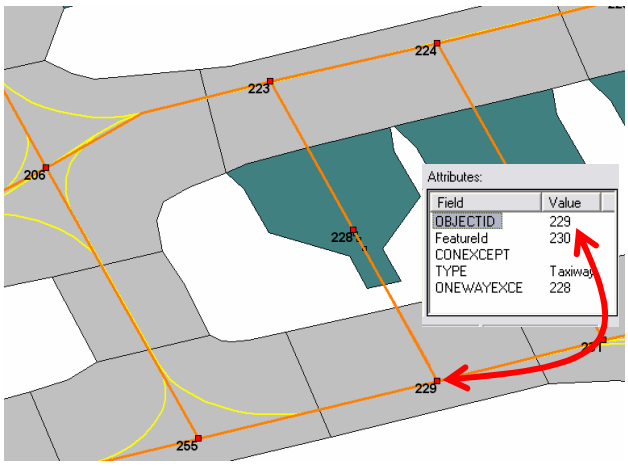

BILD 6. Beispiel einer „Oneway Exeption“

5. VALIDIERUNG

Zur Validierung des Konzeptes des „geometrisch-logisches Taxiwegenetz“ wurde am Institut für Flugsysteme und Regelungstechnik eine Applikation entwickelt, mit deren Hilfe Routen unter Verwendung des geometrisch-logischen Taxiwegenetzes geplant werden können. Unter der Berücksichtigung der in der Datenbank abgelegten Randbedingungen können fahrbare Routen zusammengestellt werden. Wie BILD 7 zeigt, besteht die Applikation aus einem Datenbank–Viewer (rechtes Fenster), einem Selektionsfenster (links) und einem Statusfenster (Mitte). Der Viewer zeigt ein Layout des Flughafens basierend auf einer herkömmlichen AMDB, welche stufenlos hinein- oder hinausgezoomt werden kann. Die Spalten linkerhand vermitteln die Informationen über die Routenplanung. Wird die Applikation gestartet, werden im linken Fenster alle möglichen Startpositionen des Flugzeuges angezeigt, die zu Beginn einer Rotenplanung gewählt werden können.

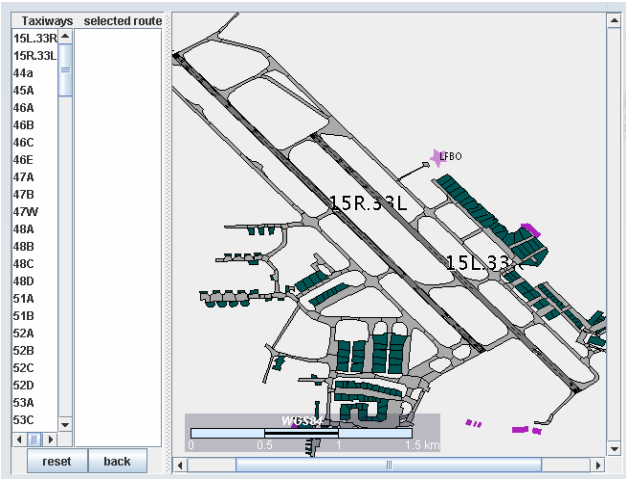

BILD 7. Applikation zur Validierung der AMDB-Erweiterung

Ist eine Startposition gewählt - BILD 8 zeigt die Startposition auf „Runway 15L.33R“ - erscheint diese Auswahl im mittleren Fenster unter „Selected Routes“. Ebenfalls wird das selektierte Element im Airport-Viewer durch ein Einblenden des entsprechenden TaxiNet-Elementes graphisch hervorgehoben. Im linken Fenster reduziert sich im selben Augenblick die Anzahl der auswählbaren Routen. Es ist nur noch eine Selektion von Rollwegen möglich, die von dem aktuellen Standpunkt aus „nutzbar“ sind. Zur Berechnung der verbliebenen Auswahl wurden die in dem Taxiwegenetz gespeicherten Informationen ausgewertet und Informationen über Einbahnstraßen oder nicht fahrbare Kurven berücksichtigt, so daß nur noch operationell sinnvolle Alternativen angeboten werden.

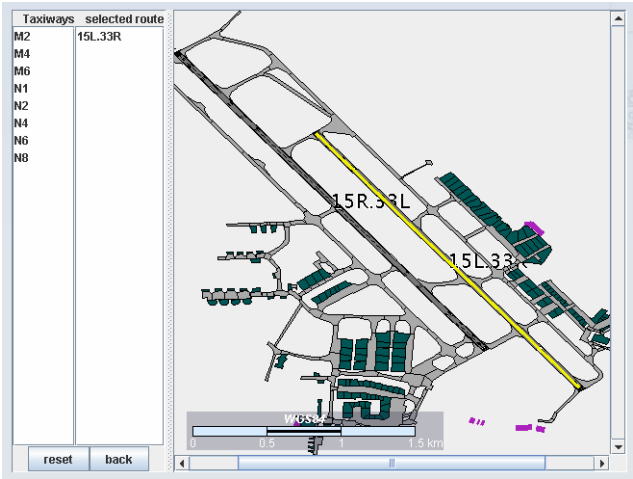

BILD 8. Auswahl eines Startpunktes

In einem nächsten Schritt kann aus den verbleibenden Alternativen die Fortsetzung der Routenplanung angegangen werden. Nach einer Selektion des nachfolgenden Taxiweges ändert sich erneut die Auswahl der möglichen Rollrouten (BILD 9). Dieses Procedere wird so lange wiederholt, bis das gewünschte Ziel erreicht ist und abschließend der richtige Standplatz selektiert werden muß (BILD 10).

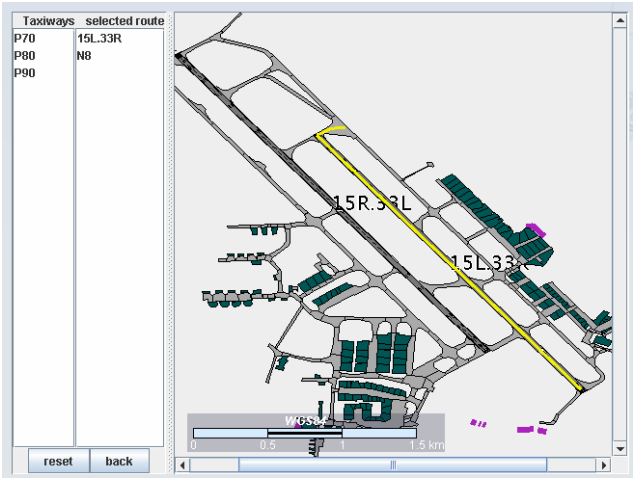

BILD 9. Selektion eines möglichen Routenabschnittes

Bereits dieses einfache Beispiel verdeutlicht den operationellen Sinn der Anwendung zur Routenberechnung. Heutzutage bekommt die Cockpitbesatzung von der Vorfeldkontrolle die Rollroute über Funk diktiert. Wird der von der Crew empfangende Rollpfad in die Applikation eingegeben, kann die Plausibilität der empfangen Informationen überprüft werden. Sollte ein angewiesener Rollweg in dem Rotenplanungstool nicht zur Auswahl stehen, kann sich die Crew rückversichern, ob die Anweisungen richtig verstanden wurden. Etwaige

Mißverständnisse können geklärt werden und ein sichres Erreichen des Zieles ist gewährleistet.

Ebenfalls kann der schnellste Rollweg von einem beliebigen Punkt zu einem anderen berechnet werden. Auch besteht die Möglichkeit Zwischenstationen zu berücksichtigten. Solch eine Funktion ist besonders für die Vorfeldkontrolle von Interesse. Hier können für alle rollenden Flugzeuge die effektivsten Wege berechnet werden. Um mögliche Beeinträchtigungen der Flugzeuge untereinander zu vermeiden, können die Routen verglichen und mögliche Konflikte bestimmt werden. Sollte eine Umplanung der Routen notwendig sein, kann unter Berücksichtigung der nun bekannten Randbedingung eine Neuberechnung der Wege erfolgen.

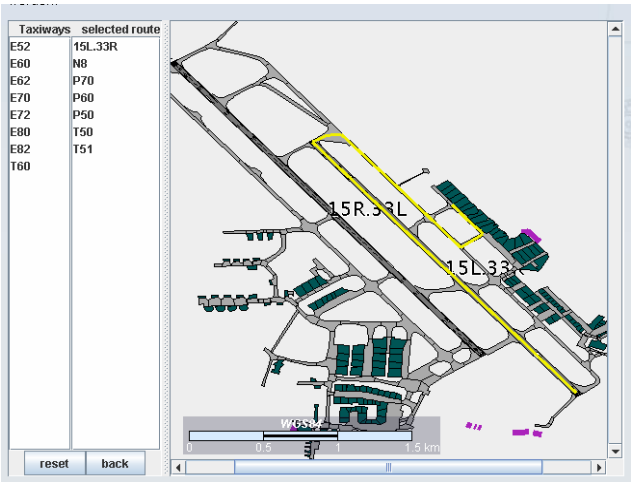

BILD 10. Auswahl des Zieles

6. ZUSAMMENFASSUNG

Da der derzeit gültige Standard zur Generierung von Flughafendatenbanken (RTCA DO-272a/EUROCAE ED-99A) eine naturgetreue Wiedergabe des Flugplatzes anstrebt, können nur beschränkt die logischen Zusammenhänge des Rollwegenetzes bestimmt werden. Um der Nachfrage an Routingfunktionen gerecht zu werden, wurde an der TUD eine Erweiterung zur herkömmlichen Airport-Datenbank entwickelt. Das hier vorgestellte Konzept zur AMDB Erweiterung ermöglicht nun eine effiziente und zuverlässige Methode, Zusammenhänge der Taxiwege zu berechnen. Die Vorteile lassen sich wie folgt benennen:

- Das komplette Taxiwegenetz wird durch das neue Konzept abgebildet (unabhängig von Inkonsistenzen in der Realität).
- Alle Taxiwegsegmente werden durchgängig - also auch an Kreuzungen - eindeutig mit dem korrekten Namen dargestellt.
- Das komplexe Netz aus einzelnen Taxilinien, die nach der DO-272/ED-99 in eine Vielzahl von Unterelemente aufgeteilt werden, wird durch die TaxiNet-Elemente stark vereinfacht.

Mußte bislang für Routenberechnungen das Taxiwegenetz durch komplexe Analysen der Konnektivitäten von sowohl Taxiwegsegmenten als auch Taxilinien rekonstruiert werden, wird dies durch das hier vorgestellte Konzept stark vereinfacht. Die benötigten Daten liegen direkt in der Datenbank vor. Routenberechnungen sowohl für Cockpit-Anwendungen als auch für Flugsicherungsaufgaben können somit ohne großen zusätzlichen Rechenaufwand direkt ausgeführt werden. Zu berücksichtigen ist, daß das Taxiwegenetz der TaxiNet-Elemente nicht exakt den Taxilinien auf dem Flugplatz entspricht. Sie stellen vereinfacht den logischen Zusammenhang aller notwendigen Elemente dar. Sollte diese jedoch für Darstellungszwecke benötigt werden, liegen die spezifikationskonformen Taxilinien weiterhin in der AMDB vor und können detektiert bzw. angezeigt werden.

LITERATUR

[1] RTCA 2005: User Requirements Aiprort Mapping Information. RTCA/EUROCAE DO-272a/ED-99a.

[2] RTCA 2004: Interchange Standards for Terrain, Obstacle, and Aerodrome Mapping Data RTCA/ EUROCAE DO-291/ED-119a.

[3] TUD: eAMDB Projektbeschreibung: http://www.fsr.maschinenbau.tu-darmstadt.de/research/ projects/de_index.html (2005)

[4] Diestel, R. 2005: Graphentheorie. 3. Auflage. Springer, Heidelberg

[5] Sedlacek, J.:1968, 1972 :Einführung in die Graphentheorie/. B. G. Teubner, Leipzig