

AIXM5 ALS TREIBER DES PARADIGMENWECHSELS IN DEN AERONAUTISCHEN INFORMATIONSDIENSTEN

C. Grothe, A. Nathaus, T. Penev und U. Klingauf
Fachgebiet Flugsysteme und Regelungstechnik
Technische Universität Darmstadt
64287 Darmstadt, Deutschland

ZUSAMMENFASSUNG

In den letzten drei Jahren entstand unter Mitwirkung der Autoren der zukünftige Standard für den Austausch aeronautischer Informationen: das *Aeronautical Information Exchange Model Version 5* (AIXM5). Mit diesem integrierten Datenmodell können betriebliche, zeitliche und geographische Aspekte für luftfahrtrelevante Informationen gleichermaßen abgebildet werden. AIXM5 ist Schlüsselement und Treiber für den branchenweiten Paradigmenwechsel von einer produktorientierten hin zu einer datenorientierten Sicht. Bereits in der Spezifikationsphase wurde das Modell durch zwei Fallstudien evaluiert und in diesem Rahmen auf AIXM5 basierende Anwendungsvisionen für das papierlose Cockpit im Flugsimulator der Technischen Universität Darmstadt aufgezeigt.

1 EINLEITUNG

Zur Gewährleistung eines sicheren und geordneten Ablaufes des Flugverkehrs sind verlässliche Informationen zu den aktuellen Verkehrsbedingungen für alle Beteiligten (z.B. Fluglotsen, Piloten) von entscheidender Bedeutung. Die Bereitstellung dieser Informationsbasis bezüglich Luftraumstruktur, Flugplätzen und Flugsicherungsverfahren ist Gegenstand lokaler, nationaler und internationaler Regelungen, die durch die ICAO-Mitgliedstaaten in hoheitlicher Aufgabe umgesetzt werden.

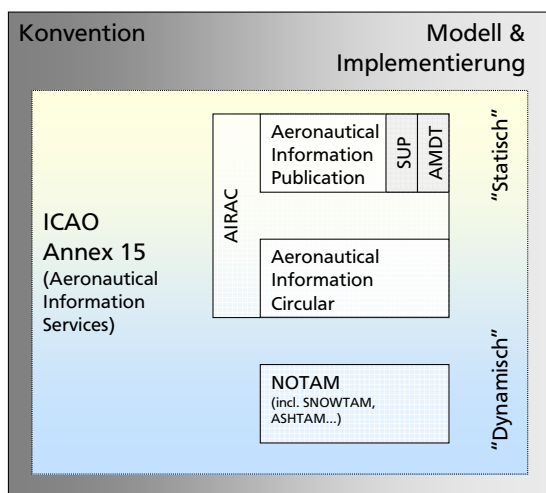


Bild 1: AIS Produkte

Zu diesem Zweck beschreibt *Annex 15 to the Convention on International Civil Aviation* [1] verbindliche Rahmenbedingungen für die Veröffentlichung luftfahrt-

relevanter Informationen (AIS; Aeronautical Information Services) in Form zweier Produktlinien:

- Das *Luftfahrthandbuch* (AIP: Aeronautical Information Publication) beschreibt alle flugverkehrs-spezifischen Regeln und Vorschriften eines Landes und wird in Form eines standardisierten Nachschlagewerkes veröffentlicht.

Im Rahmen des AIRAC (Aeronautical Information Regulation and Control) Systems erscheinen Berichtigungen, Änderungen und Erweiterungen zum Luftfahrthandbuch in festgelegten Zyklen von 4 Wochen. Diese Aktualisierungen werden in Form von Amendments (AMDT) und Supplements (SUP) zum AIP sowie in Form von eigenständigen Aeronautical Information Circulars (AIC) bekannt gegeben.

Beispiele für im AIP enthaltene Daten sind Beschreibungen von Lufträumen, Flugrouten und Anflugprozeduren.

- Kurzfristige und/oder temporäre Abweichungen von den Angaben im Luftfahrthandbuch werden im Bedarfsfall in Form von Kurznachrichten, den *NOTAM* (Notice to Airmen), veröffentlicht. Im Gegensatz zum Luftfahrthandbuch bezieht sich ein NOTAM auf genau eine Gegebenheit (Beispiele siehe Bild 2).

Weiterhin ist die Gültigkeit der enthaltenen Informationen in aller Regel bereits zum Zeitpunkt des Erscheinens zeitlich begrenzt. Eine Ausnahme bilden als dauerhaft angenommene Änderungen, deren Gültigkeitsbeginn asynchron zum AIRAC Zyklus liegt. Diese werden zunächst als *Permanent NOTAM* bekanntgegeben. Parallel mit

der Veröffentlichung als AMDT / SUP zum nächstmöglichen Zeitpunkt wird durch ein *Cancel NOTAM* das vorhergehende NOTAM als ungültig deklariert [2].

In NOTAM werden dem Piloten zum Beispiel Sperrungen von Lufträumen, betriebliche Einschränkungen zur Benutzung von Landebahnen oder Informationen zu errichteten Hindernissen mitgeteilt.

```
- INSTRUMENT APPROACH ILS/DME RWY 26L: PROCEDURE SUSPENDED.  
REF AIP AD 2 EDDF 4-2-2A DATED 19 FEB 2004.  
EDDF  
FROM: 03 JAN 2007 14:14 TO: 31 DEC 2007 23:59 EST  
  
- TDZ RWY 26L UNMARKED AND UNLIGHTED.  
EDDF  
FROM: 31 JAN 2007 12:00 TO: 31 DEC 2007 23:59 EST  
  
- ACFT TYPES C5, A124 AND A225 ARE NOT ALLOWED TO LAND AT EDDF.  
EXCEPTIONS IN EMERGENCY SITUATIONS ONLY.  
EDDF  
FROM: 02 FEB 2007 15:10 TO: PERM
```

Bild 2: NOTAM Beispiele

Bild 1 stellt den Gesamtzusammenhang dar.

Durch eine Vielzahl von Faktoren hat sich in der Vergangenheit eine komplexe Prozesskette von der Datenerfassung über die Aufbereitung und Verarbeitung bis zur Datenverteilung und -nutzung entwickelt. Diese Prozesskette ist durch eine Vielzahl von Datenquellen und Datenformaten geprägt. Die damit einhergehenden Medienbrüche führen zu einer hohen Fehleranfälligkeit, da ein erhöhtes Risiko der Datenverfälschung im Verlauf der Verarbeitungskette besteht. In Verbindung mit der Forderung nach einer verlässlichen Datenbasis führt dies zu einem enormen Aufwand zur Sicherstellung der Korrektheit übermittelter Daten [3].

Die produktzentrierte Sichtweise mit den oben erwähnten Linien führt darüber hinaus zu zwei verschiedenartigen Ausprägungen der Prozesskette. Die Unterscheidung zwischen „statischen“ Daten des Luftfahrthandbuches und „dynamischen“ NOTAM zeigt Auswirkungen bis hin zur Anwendungsebene [2].

Zum Beispiel führt im Fall einer Cockpit-Anwendung diese konsequente Unterscheidung zu der Situation, dass die Datenbasis für Pilotenassistenzsysteme ausschließlich aus „statischen“ AIP Daten besteht. Die aktuelle Struktur der NOTAM Daten lässt keine vollautomatische Verarbeitung zu, folglich können diese Daten nicht in den informationstechnischen Systemen an Bord des Flugzeuges genutzt werden. Die in NOTAM publizierten kurzfristigen und vorübergehenden Änderungen werden als textuelle Kurznachrichten publiziert (siehe Bild 2) und müssen durch den Piloten im Rahmen der Flugvorbereitung hin-

sichtlich ihrer Relevanz für eine spezifische Flugroute bewertet werden. Oftmals sind für eine Flugroute mehrere hundert NOTAM zu beurteilen, wobei teilweise bereits publizierte NOTAM referenziert werden, die ebenfalls in die Bewertung einfließen. So werden einem Piloten in der Flugvorbereitung im *Preflight Briefing* vor dem Abflug mitunter über 50 dieser kurzen Textmeldungen vorgelegt. Im weiteren Verlauf bleibt es die Aufgabe des Piloten, die Aussagen der elektronischen Bordsysteme mit den Informationen der als relevant eingestufteten NOTAM abzugleichen.

1.1 Von AIS zu AIM

Obgleich in der jüngeren Vergangenheit Visionen für die Erweiterung der bestehenden Cockpit-Systeme insbesondere hinsichtlich einer automatisierten Zusammenführung der AIP und der NOTAM Daten entwickelt wurden, ist die Umsetzung mit den heutigen Konventionen nicht vollständig realisierbar. Das hängt unter anderem mit dem durch Annex 15 erzeugten Produktverständnis und der damit einhergehenden unterschiedlichen operativen Handhabung zusammen.

Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde mit der Entwicklung von AIXM5 (*Aeronautical Information eXchange Model Version 5*)¹ ein Paradigmenwechsel auf Konzept- und Implementierungsebene eingeleitet. Die Zielsetzung dabei ist, einen Wechsel im Verständnis der Sicht auf Informationen herbeizuführen: von dem in Annex 15 beschriebenen produktorientierten Ansatz hin zu einer integrierten Sicht auf Daten. Dieser Prozess wird als Übergang von AIS zu AIM (*Aeronautical Information Management*) bezeichnet [3].

Die Intention von AIXM5 ist es, einen allgemeingültigen Standard zum Umgang mit aeronautischen Informationen zu schaffen und mit AIXM5Schema eine technische Basis zur Verfügung zu stellen, mit der ein anwendungsunabhängiger Umgang mit Daten ermöglicht wird. Um das zu gewährleisten, beschreibt AIXM5 eine einheitliche Datenstruktur, die für alle Anwendungsgebiete eine geeignete Grundlage darstellt. Dabei können beliebige luftfahrtrelevante Gegebenheiten mit beliebigen zeitlichen und räumlichen Gültigkeiten beschrieben werden.

1.2 Modellierung aeronautischer Entitäten

Ein zentrales Element von AIXM5 ist das *Feature*, das eine Entität aus der „echten Welt“, hier zu verstehen als die Welt der Luftfahrt, beschreibt. Features be-

¹ <http://www.aixm.aero>

schreiben also nicht zwangsläufig physisch existente Gegebenheiten, sondern können durchaus immaterielle Sachverhalte wie z.B. ein Anflugverfahren zum Inhalt haben. Die Beschreibung einer Gegebenheit umfasst alle operationell relevanten Informationen und kann unter anderem aus Klassifizierung, Identifikation, Status und Beschreibung physikalischer Eigenschaften bestehen. Die besonderen räumlichen und zeitlichen Aspekte aeronautischer Entitäten werden in Abschnitt 2 und 3 gesondert diskutiert.

Die Modellierung der Features erfolgt gemäß den Konventionen für statische Modellierung nach der Unified Modeling Language (UML) [4]. Eine konkrete Entität wird dabei als Objekt abgebildet. Die spezifischen Eigenschaften der Entitäten werden im Objekt in Form eines Attribut-Satzes abgebildet, sodass die Attributwerte eines Objektes den Zustand der Entität widerspiegeln. Während der Lebensdauer eines Objektes sind die Werte eines Attributes veränderlich, insbesondere ist die Möglichkeit gegeben, Attribute unbelegt zu lassen. Die einzige Ausnahme bildet der Identifikator („*identifier*“), der die Identität des Objektes modelliert. Der Identifikator ist ein künstliches Attribut, das keiner Eigenschaft der modellierten Entität entspricht. Auf die Variabilität der Attributwerte über die Zeit wird in Abschnitt 3 im Detail eingegangen.

An dieser Stelle sei erwähnt, dass AIXM5 auf eine Reihe aktueller internationaler Standards aufsetzt, um eine weitreichende Interoperabilität zu gewährleisten. Dies beginnt mit der oben bereits erwähnten UML, einem industriellen Quasi-Standard für die Modellierung von Systemen. Weiterhin basiert AIXM5 auf der Serie der ISO 191xx Standards für die Beschreibung geographischer Daten.

1.3 Anwendungsunabhängigkeit

Im Gegensatz zu den aktuellen spezifischen Datenformaten ist es ein erklärtes Ziel von AIXM5, sowohl ein allgemeingültiges als auch ein umfassendes Datenformat zu sein. AIXM5 strukturiert Daten dergestalt, dass die Selektion bezüglich der anwendungsspezifischen Relevanz der Daten nicht während der Erfassung, sondern zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen kann. Zwar kann die Datenerfassung nach wie vor in einem anwendungsspezifischen Rahmen stattfinden, die Struktur der Daten ist jedoch vollständig unabhängig von ihrer späteren Anwendung. Dadurch werden in Zukunft erweiterte Anwendungsfelder durch neue Integrationsmöglichkeiten der Daten denkbar, indem Daten anwendungsübergreifend kombiniert werden.

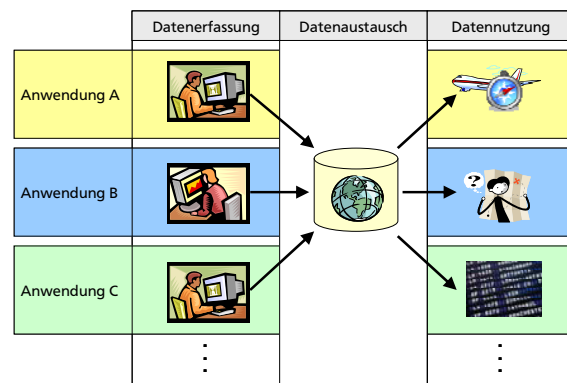


Bild 3: Anwendungsübergreifende Datennutzung

1.4 Objektidentifikation

Ein zentrales Thema bei der Abfrage und Kombination von Daten ist die Identifikation von Objekten bzw. Features. In der Welt isolierter Anwendungen ist die Verwendung sogenannter „natürlicher Identifikatoren“, also das Objekt beschreibender Attribute wie z.B. dem natürlichsprachlichen Namen, durchaus angemessen. Da für diese keine anwendungsunabhängige, geschweige denn globale Eindeutigkeit garantiert werden kann, ist die Verwendung der natürlichen Identifikation für ein allgemeingültiges Datenformat nicht angezeigt.

Name	ID	Type	Country
ABIDJAN	AD	VOR-DME	Ivory Coast
ADELAIDE	AD	VOR-DME	Australia
ADELAIDE	AD	NDB	Australia
ADEN	AD	NDB	Yemen
ALDAN	AD	NDB	Russia
ANDA	AD	NDB	Norway
ANDIZHAN	AD	NDB	Uzbekistan
ARANDIS	AD	NDB	Namibia
ASHGABAT	AD	NDB	Turkmenistan
BATEEN	AD	NDB	United Arab Emirates
BRONS	AD	NDB	United States
RENGAT	AD	NDB	Indonesia
SHERMETYEVO	AD	NDB	Russia
SOCHI	AD	NDB	Russia

Bild 4: Beispiel für kombinierte Identifizierung

Bild 4 gibt am Beispiel von Navigationshilfen einen Eindruck der Identifikationsproblematik. Die Suche nach Navigationshilfen mit dem Identifikator „AD“ ergibt weltweit vierzehn Treffer, in Kombination mit der Klassifizierung „NDB“ bleiben zwölf Ergebnisse übrig. Zur Erlangung eines eindeutigen Ergebnisses ist offensichtlich eine Kombination mehrerer vollständig und formal korrekt befüllter Datenfelder erforderlich. Aus der informationstechnischen Sicht ist die Verwendung von natürlichen Schlüsseln, in-

sbesondere Namen, kritisch, da eine Wertkonstanz nicht garantiert ist.

Eine sichere Referenzierung zwischen Objekten kann nur durch Verwendung eines eindeutigen Identifikationsmerkmals erfolgen. In Computer- und Datenbanksystemen werden diese typischerweise durch das Datenverwaltungssystem künstlich erzeugt um die Eindeutigkeit über alle Objekte sicherzustellen. Die Verwendung solcher „künstlicher Schlüssel“ ist in AIXM5 obligatorisch und wird für jedes Objekt erwartet. Zur Gewährleistung weltweit eindeutiger Identifikatoren ist das UUID-Konzept (*Universally Unique Identifier*) zur Verwendung in AIXM5 vorgeschlagen worden [5]. Dieser Standard zur Erzeugung eindeutiger Identifier findet eine weite Verbreitung in der Softwareentwicklung und ist sowohl als Teil von Ref. [6] als auch separat in Ref. [7] dokumentiert. Wichtigste Eigenschaft des UUID Konzeptes ist die Tatsache, dass mittels geeigneter Algorithmen global eindeutige Identifikatoren ohne zentrale Koordination von isolierten Systemen erzeugt werden können. Aufgrund der speziell entwickelten Algorithmen und der enormen Anzahl möglicher UUID (insgesamt umfasst der UUID-Raum eine Menge von $3,4028 \cdot 10^{38}$ verschiedenen Elementen) geht die Wahrscheinlichkeit der Uneindeutigkeit gegen Null.

Abseits der technologischen Ebene findet sich ein weiteres Identifikationsproblem: Falls ein Datenaustausch zwischen zwei isoliert operierenden Systemen umgesetzt werden soll, so ist die Eindeutigkeit des Identifikators nicht mehr ausreichend. Um die Objektidentität festzustellen, muss das identifizierende Kriterium den Anspruch der Eineindeutigkeit erfüllen, d.h. die Objekt-ID muss in beiden Systemen identisch sein. Auf der technischen Ebene ist eine mögliche und naheliegende Lösung die Verwendung einer globalen, zentralen Vergabeinstanz für UUID, was zwar mit einem beachtlichen operativen Aufwand verbunden, aus technologischer Sicht aber durchaus machbar ist. Auf dem Weg zu einer solchen Lösung stehen jedoch zunächst organisatorische und politische Fragestellungen im Vordergrund, sodass eine konkrete Umsetzung zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht absehbar ist.

2 DER RÄUMLICHE ASPEKT

Ein wesentliches Merkmal aeronautischer Daten ist der ihnen inhärente geographische Bezug. In den meisten Fällen haben aeronautische Entitäten zudem Eigenschaften, die als geometrische Attribute modelliert werden können wie z.B. Lage, Reichweite oder Ausdehnung. Daher ergibt sich für AIXM5 die Forderung nach einem geographischen/geometrischen Modell.

Da Interoperabilität eines der Hauptziele von AIXM5 ist, ergibt sich zusätzlich die Forderung nach einem möglichst verbreiteten, bestenfalls bereits standardisierten Modell für Geodaten, das in den Standards der ISO 191xx Serie gefunden wurde. Diese Standards wurden mit dem Ziel entwickelt, ein einheitliches Rahmenwerk zu schaffen, das die Entwicklung domainspezifischer Standards unter Berücksichtigung geographischer Gegebenheiten vereinfacht.

In dieser Serie von Standards spielt ISO 19107 – „Spatial Schema“ [8] eine Schlüsselrolle, da es ein Basisschema für die Beschreibung räumlicher Objekte mit Charakteristika wie Größe, Umriss und Topologie anbietet. Die Benutzung dieser standardisierten geometrischen Darstellung bietet eine Menge von Vorteilen:

- Die Spezifikation ist gemeinhin als Standard akzeptiert, sodass bereits in frühen Phasen der AIXM5 Entwicklung auf vorhandene kommerzielle GIS Produkte zurückgegriffen und somit eine Kostenreduktion in der Implementierungsphase erzielt werden kann.
- Das in ISO 19107 präsentierte geometrische Modell ist sehr sorgfältig formuliert, sodass es eine erschöpfende Modellierung räumlicher Gegebenheiten und Eigenschaften sowie die Anwendung effizienter Algorithmen aus dem weiten Feld der Algorithmischen Geometrie ermöglicht.
- Aus Implementierungssicht ist einer der größten Vorteile, dass ein anderer Standard aus der Serie direkt verwendet werden kann, die Geography Markup Language (GML) 3.2 [9][10].

GML ist eine vom OpenGIS Consortium (OGC)² entwickelte XML Schema Implementierung von ISO 19107 und ein international akzeptierter Standard für den Austausch geographischer Daten. Diese Implementierung liefert die Bausteine, um geographische Entitäten und deren Eigenschaften darzustellen. Des Weiteren werden räumliche Basisdatentypen (Punkt, Linie und Polygon) zur Verwendung in zwei- und dreidimensionalen Referenzsystemen definiert.

Die Verwendung dieser Standards ermöglicht es, mit AIXM5 verschiedene aeronautische Entitäten und deren räumliche Eigenschaften in einer präzisen und standardisierten Art und Weise abzubilden (Bild 5).

AIXM5 setzt auf das 2-dimensionale Modell auf, das um weitere in Annex 15 geforderte Eigenschaften wie z.B. Geoidundulation und Genauigkeitsangaben erweitert wurde. Weiterhin wird das in der aeronau-

² <http://www.opengeospatial.org/>

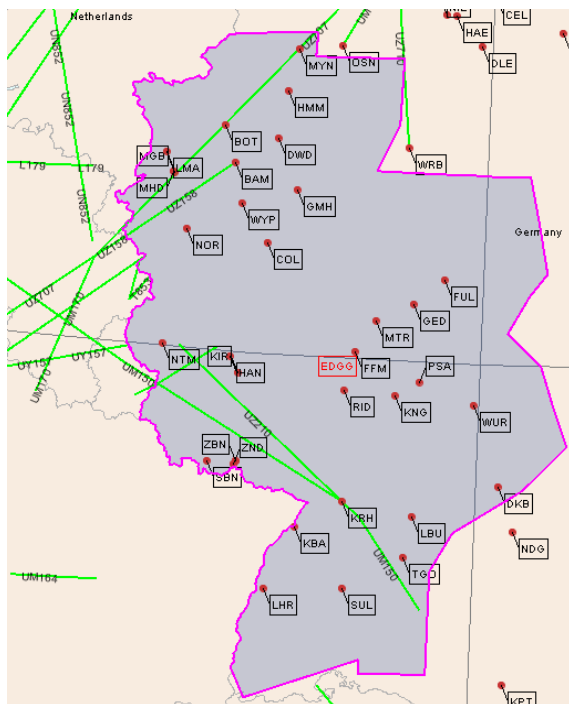


Bild 5: Lokationen von Navigationshilfen, Luftstraßenabschnitten und einem Luftraum in Form der räumlichen Basisdatentypen

tischen Welt übliche „2,5-dimensionale“ Modell verwendet, bei dem jede Geometrie genau eine Höhe haben kann.

AIXM5 profitiert von den Vorteilen der benutzten Standards. Eine direkte Auswirkung für die Implementierung ist die Optimierung der Kosten und eine Steigerung der Effizienz durch Benutzung fertiger kommerzieller Werkzeuge und Produkte.

3 DER FAKTOR ZEIT

Die in AIXM modellierte aeronautische Welt ist naturgemäß Änderungen unterworfen. Diese Änderungen sind in den meisten Fällen geplante Aktionen, deren rechtzeitige Ankündigung (und die Verteilung dieser Information) für die Luftverkehrssicherheit unerlässlich ist, denn nur ein zu jedem Zeitpunkt gleicher Informationsstand aller Teilnehmer gewährleistet ein komplikationsfreies Zusammenspiel.

Aeronautische Informationssysteme sind deshalb gefordert, die Speicherung und Bereitstellung der aktuellen Situation wie auch von zukünftigen Änderungen zu unterstützen. Aus rechtlichen Gründen ist es außerdem oft notwendig, auch Informationsstände der Vergangenheit rekonstruieren zu können. Zeit ist also ein essenzieller Faktor in der Welt aeronautischer Informationen.

Dem wird auf regulatorischer Ebene dadurch Rechnung getragen, dass einerseits das AIRAC-System für planbare, langfristige Änderungen einen 28-Tage-Zyklus von fest vorgegebenen Tagen für Veröffentlichung und Inkrafttreten (*effective dates*) festlegt. Andererseits wird das „statische“ AIRAC-System durch „dynamische“ NOTAM ergänzt, in denen kurzfristige und/oder temporäre Änderungen angekündigt werden (siehe Abschnitt 1). Wesentlicher Bestandteil ist auch hier der Gültigkeitszeitraum (*effectivity*) der enthaltenen Informationen. Für diesen angegebenen Zeitraum überlagert der beschriebene Zustand eines Objekts den im AIP veröffentlichten. Somit beschreibt das AIP den Normal- oder Grundzustand und NOTAM die Abweichungen davon. Dabei sind die NOTAM-Informationen per Definition höher priorisiert und damit rechtlich bindend, die „dynamische Schicht“ steht somit über der „statischen“.

Der vollständige, gegenwärtig gültige Zustand ist dadurch beschrieben, dass die in NOTAM publizierten Abweichungen auf den im AIP beschriebenen Grundzustand angewendet werden. Dabei können sehr viele NOTAM gleichzeitig gültig sein, weil jedes NOTAM eine andere Gegebenheit beschreibt (Bild 6).

Der Grundzustand eines Objektes ist inhärent subjektiv und wird von den veröffentlichenden Stellen a priori festgelegt.

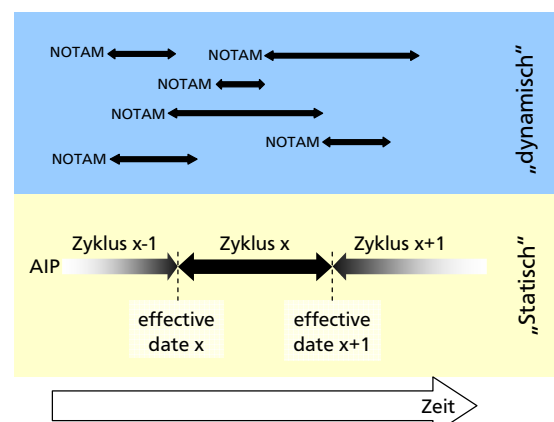


Bild 6: Zeitliche Gültigkeit von AIP und NOTAM in der "statischen" und der "dynamischen" Ebene

Nichtsdestotrotz ist diese Unterscheidung notwendig, denn erst hierdurch wird die Erstellung von rechtlich bindenden, gedruckten Publikationen wie des AIPs oder Luftfahrtkarten möglich. Es muss ein definierter „Grundzustand“ festgelegt werden, um sicherzustellen, dass die gedruckte Information nach dem zeitlich aufwändigen Produktions- und Verteilungsprozess nicht schon veraltet ist.

3.1 Das AIXM5 Temporality Model

Aus den vorangehenden Darstellungen wird deutlich, dass im heutigen System die Unterstützung zeitlicher Gültigkeit auf die bekannten Produkte AIP und NOTAM fokussiert ist. AIXM5 geht auch an dieser Stelle den Schritt zur datenorientierten Sichtweise und definiert ein umfassendes *Temporality Model* auf Objekt-Ebene mit der Maßgabe, die gängigen AIS-Produkte weiterhin zu unterstützen [5].

Dazu wird jede Eigenschaft einer Entität als zeitlich veränderliches (*time-varying*) Attribut modelliert. Einziges unveränderliches Attribut ist der Identifikator wie in Abschnitt 1.4 beschrieben.

Die zeitliche Entwicklung eines Objektes über seine Lebensdauer wird durch die zwei temporalen Basis-Konzepte *Zustand* und *Ereignis* modelliert:

- Der Zustand eines Objektes bezeichnet die Menge aller zu einem Zeitpunkt oder über einen Zeitraum gültigen (d.h. unveränderten) Werte der als Attribute abgebildeten Eigenschaften der Entität.
- Ein Ereignis verändert den Zustand (die Werte eines oder mehrerer Objekt-Attribute) einer Entität zu einem bestimmten Zeitpunkt. Diese Zustandsänderung wird beschrieben durch die Differenz zwischen dem vorherigen und dem nachfolgenden Zustand zum Zeitpunkt des Ereignisses.

Auf diesen Elementarkonzepten basierend definiert das AIXM5 *Temporality Model* verschiedene Container-Typen (*Timeslices*). Zunächst bilden die folgenden zwei Timeslice-Typen dabei die minimale Menge zur Unterstützung des Modells (Bild 7):

- Die BASELINE beschreibt den vollständigen Grundzustand eines gegebenen Objekts, d.h. alle bekannten und existenten Objekt-Attribute haben einen Wert. Die zeitliche Gültigkeit einer BASELINE wird in Form eines temporalen Intervalls durch einen Beginn- und einen Ende-Zeitstempel beschrieben. Bei der gegenwärtig gültigen BASELINE ist der Ende-Zeitstempel nicht gesetzt, das temporale Intervall also einseitig offen.
- In einem PERMDelta werden Änderungen am Grundzustand (durch ein Ereignis) durch den Unterschied zwischen zwei zeitlich aufeinander folgenden BASELINES beschrieben. PERMDeltas beinhalten lediglich die Differenz zwischen den BASELINES, also diejenigen Attribute und Werte, die sich ändern. Die zeitliche Gültigkeit eines PERMDeltas wird durch einen Zeitstempel beschrieben, jenen Zeitpunkt, an dem die Änderung in Kraft tritt.

3.2 Temporäre Zustände

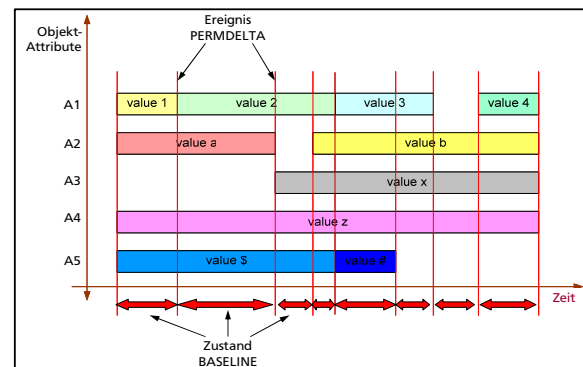


Bild 7: Die temporalen Basiskonzepte Ereignis und Zustand umgesetzt in PERMDelta und BASELINE

Die Notwendigkeit, zwei verschiedene Schichten mit unterschiedlicher Priorität einzuführen, wurde auch für die in AIXM5 eingenommene datenorientierte Sicht festgestellt. Zunächst, um der geforderten Unterstützung der bisherigen AIS-Produkte gerecht zu werden, aber auch aufgrund von Anwendungsanforderungen, wie oben beschrieben.

Außerdem verhindern die sehr heterogenen und global verteilten Veröffentlichungs- und Verteilungswege von aeronautischen Informationen eine Echtzeit-Nutzung der Daten. Die meisten Endanwendungen (wie z.B. Onboard-Datenbanken) sind nicht permanent mit den Netzwerken verbunden, über die entsprechende Änderungsinformationen verteilt werden (*Push-Verfahren*). Stattdessen synchronisieren diese Anwendungen ihren Datenbestand von Zeit zu Zeit (*Pull-Verfahren*). Bei diesen Synchronisationsvorgängen genügt es nicht, den aktuell gültigen Zustand aller Objekte abzufragen, auch geplante Änderungen müssen berücksichtigt werden. Die Unterscheidung zwischen dem Grundzustand eines Objektes und einer temporären Änderung erlaubt eine unterschiedliche Behandlung der Daten, in dem sich das Schichten-Konzept in der Datenhaltung der Endanwendungen fortsetzt.

Aus diesen Gründen bietet AIXM5 weitere Timeslice-Typen, die das oben beschriebene, minimale und vollständige Modell um zusätzliche, zweckmäßige Sichten (*views*) ergänzen.

- Ein TEMPDelta beschreibt eine temporäre Abweichung vom Grundzustand eines Objektes. Aufgeführt sind darin diejenigen Attribute und Werte, die temporär geändert sind. Der Gültigkeitszeitraum wird durch ein temporales Intervall beschrieben.

- In einem SNAPSHOT wird der vollständige, zu einem gegebenen Zeitpunkt gültige Zustand eines Objektes (inklusive aller temporären Abweichungen) beschrieben. Alle Attributwerte des betroffenen Objektes werden aufgeführt. Ein Zeitstempel beschreibt die zeitliche Gültigkeit des SNAPSHOTs.

Bezogen auf die temporalen Basiskonzepte beschreibt ein SNAPSHOT einen vollständigen Zustand (also den Grundzustand BASELINE mit temporären Abweichungen TEMPDELTA), anders als die BASELINE allerdings nicht für einen Zeitraum, sondern für einen Zeitpunkt. Ein TEMPDELTA beschreibt genau genommen zwei Änderungs-Ereignisse; vom Grundzustand zum temporären Zustand und die Rückkehr zum Grundzustand. Dadurch wird auch deutlich, inwiefern diese beiden Elemente keine Basis-Elemente darstellen, sondern Sichten: Jede temporäre Abweichung mit zeitlicher Befristung könnte auch als zwei geplante (permanente) Änderungen am Grundzustand aufgefasst werden.

Die Gesamtheit der vier Timeslice-Typen unterstützt so die Arbeitsweise verschiedener Anwendungen mit unterschiedlichsten Anforderungen an Temporalität. Während beispielsweise für die Papierkartenproduktion weiterhin lediglich BASELINEs von Interesse sind und hier für einen effizienten Datenaustausch PERMDELTA eingesetzt werden können, wird für Flugplanung und -vorbereitung die vollständige Sicht auf den Zustand aeronautischer Entitäten in einem SNAPSHOT zum Startzeitpunkt des Fluges sowie eventuell vorhandene temporäre Abweichungen TEMPDELTA wichtig sein.

Letztlich bleibt anzumerken, dass das AIXM5 Temporality Model tatsächlich Zeitabhängigkeit in Bezug

auf Informationen definiert, unabhängig von dem aus diesen Informationen erzeugten Produkt. Während in der bisherigen AIS-Welt ein NOTAM einen Gültigkeitszeitraum hatte und AIPs durch Ereignisse an effective dates geändert wurden, so hat jetzt ein Objekt-Zustand eine zeitliche Gültigkeit und die Änderungen an aeronautischen Entitäten werden durch entsprechende Ereignisse beschrieben.

4 AIXM5 NOTAM STUDIEN

Im Rahmen zweier Studien wurden am Institut für Flugsysteme und Regelungstechnik der Technischen Universität Darmstadt Anwendungsvisionen für die Umsetzung elektronischer NOTAM aufgezeigt. Dabei stand neben der Entwicklung realistischer Anwendungsfälle für zukünftige Cockpit Systeme als zweites wesentliches Ziel dieser Studien, die Praxistauglichkeit von AIXM5 nachzuweisen.

In der ersten Studie aus dem Jahr 2006 wurden die erweiterten Möglichkeiten von AIXM5 durch die Integration von Flughafenkartendaten (Airport Mapping Databases: AMDB) aufgezeigt. Insbesondere die Darstellung von AIXM5-konform kodierten NOTAM (xNOTAM) in den Displaysystemen des Cockpits war wesentlicher Gegenstand der Untersuchungen. Im Auftrag der *European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL)* wurden verschiedene realistische Szenarien definiert und für den Flugsimulator des Instituts implementiert. Dabei wurde dem Piloten neben dem NOTAM Text eine grafische Darstellung der Situation auf dem Display visualisiert, eine Funktionalität, die erst durch die Harmonisierung von AMDB und AIXM5-kodierten NOTAM ermöglicht wurde (Bild 8). Eine detaillierte Beschreibung der Studie findet sich in Ref. [3].

Für die zweite Studie aus dem Jahr 2007 (*AIXM5 Procedure Model Study*) wurde eine AIXM5 Datenbank für Anflugprozeduren entwickelt, die das in Abschnitt 3.1 vorgestellte Temporality Model umsetzt. Weiterhin wurde eine prototypische Cockpit-Anwendung zur Darstellung der Anflugprozeduren implementiert, um das Potenzial für Funktionalitätserweiterungen und -verbesserungen aufzuzeigen, das durch die Unterstützung des geographischen/geometrischen und temporalen Modells besteht.

Die entwickelte Anwendung bietet dem Piloten über ein Bedienfeld die Möglichkeit, die in AIXM5 kodierten und in der Datenbank gespeicherten Prozeduren auszuwählen und in verschiedenen Sichten (u.a. als 3D-Anflugkanal, s. Bild 9) in Echtzeit visualisieren zu lassen. Falls zu einer Prozedur temporäre Abweichungen in der Datenbank vorhanden sind, kann der Pilot die Ansicht umschalten und einen expliziten



Bild 8: TUD Cockpit Simulator, hervorgehoben die Airport Moving Map Anzeige mit einer temporär geschlossenen Start-/Landebahn

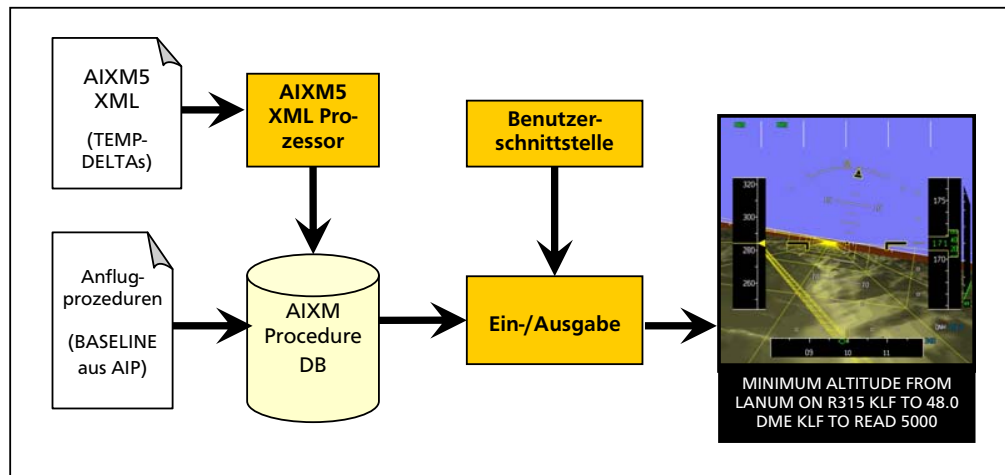


Bild 9: AIXM5 Procedure Model Study – Systemarchitektur

Vergleich zwischen dem Grundzustand und der temporär geänderten Situation zu erhalten.

Die beiden Studien sind in vielerlei Hinsicht von Interesse für die aeronautische Fachwelt:

- Die Studien zeigen Visionen für zukünftige Anwendungen auf. Die in den Arbeiten entwickelten Erweiterungen zu den bestehenden Pilotenassistenzsystemen im Cockpit zeigen deutlich das Potenzial von AIXM5 hinsichtlich aktuell kaum realisierbarer neuartiger Produkte. Im Sinne des Sicherheitsaspektes des Flugvorgangs können solche Applikationen in Zukunft das Situationsbewusstsein des Piloten erhöhen und so zur Unfallvermeidung beitragen.
- Durch den konsequenten Einsatz der von AIXM5-Schema definierten technischen Mittel zeigen die beiden Studien die praktische Umsetzung von AIXM5. Dies gilt insbesondere für die Procedure Model Study, in deren Rahmen die Anwendbarkeit auf Datenbankebene aufgezeigt wurde. In diesem Sinne sind die Studien als technische Machbarkeitsstudien anzusehen.
- Aus der operativen Sicht zeigen beide Studien praktische Verfahren für den Betrieb von AIXM5-basierten Systemen auf. Eines der wichtigsten Ergebnisse aus dieser Perspektive ist die Dokumentation von Verfahren zur AIXM5-konformen Kodierung der NOTAM Informationen. Dadurch wurde nicht nur der praktische Nutzen gezeigt und die generelle Verwendbarkeit nachgewiesen, sondern es konnten ebenfalls die Unterschiede zu den heutigen Verfahren ermittelt werden, sodass eine Abschätzung für die aus betrieblicher Sicht zu erwartenden Änderungen und Neuerungen ermöglicht wird.

5 FAZIT UND AUSBLICK

Mit AIXM5 wurde die technische Basis für die global einheitliche Darstellung und den elektronischen Austausch von aeronautischen Informationen geschaffen. Die internationale AIS Gemeinschaft hat auf dem *Global AIS Congress* in Madrid 2006 ein klares Bekenntnis zur ganzheitlichen Umsetzung und Integration von AIXM5 abgegeben und dieses im Juni 2007 auf dem *Global AIM Congress* in Brüssel noch einmal bestätigt. Weiterhin wurde die ICAO angehalten, AIXM als offiziellen Standard zu billigen [11].

Bereits in frühen Entwicklungsphasen wurde die technische Reife von AIXM5 für verschiedene Szenarien und Anwendungsfälle in den NOTAM-Studien untersucht. Die hierbei gewonnenen theoretischen Erkenntnisse und praktischen Erfahrungen konnten zu einer weiteren Reifung von AIXM5 beitragen. Das konsequent in allen Aspekten von AIXM5 angewendete Paradigma der Integration „statischer“ und „dynamischer“ AIS-Daten wurde in realistischen Anwendungsszenarien validiert, und das xNOTAM-Konzept wurde zu einer ausreichenden Reife gebracht, um in Feldversuchen den Produktiveinsatz der Technologie zu testen.

EUROCONTROL und die US-amerikanische *Federal Aviation Administration FAA* haben im xNOTAM bzw. *Digital NOTAM Project* damit begonnen, über einen geplanten Zeitraum von ca. 5 Jahren alle AIS-Systeme (in Europa insbesondere die *European AIS Database, EAD*) auf AIXM5 umzustellen [12][13]. Parallel laufen unter der Federführung von EUROCONTROL und FAA seit Ende 2007 groß angelegte Feldversuche mit zukünftigen Lieferanten und Nutzern von AIXM5, in denen Benutzer-Schnittstellen,

System-Schnittstellen, Datenbanken und Prozesse entwickelt und im Einsatz getestet werden (EUROCONTROL *Digital NOTAM Trial* [12], FAA *Digital NOTAM Submission Trial* [13]).

Nach drei *Release Candidates* in den Jahren 2006 und 2007, die zur fachlichen und technischen Evaluation durch die zukünftigen Nutzer zur Verfügung gestellt wurden, ist seit März 2008 die finale Version von AIXM5 veröffentlicht, die jetzt allen Interessierten frei zur Verfügung steht³.

Die sorgfältige konzeptionelle Modellierung der aeronautischen Welt unter Berücksichtigung temporaler und räumlicher Aspekte, die Anwendung relevanter Standards und die frühzeitige Validierung der entwickelten Technologie in erfolgreichen Studien haben es ermöglicht, mit AIXM5 den zukünftigen globalen Standard für Datenaustausch in der Welt aeronautischer Informationen zu schaffen. AIXM5 ist damit Schlüsselement und gleichzeitig Treiber für den globalen Paradigmenwechsel hin zu einer datenorientierten Sicht am Übergang von AIS zu AIM.

Referenzen

- [1] ICAO: Aeronautical Information Services - Annex 15 to the Convention on International Civil Aviation. 12th edn. International Civil Aviation Organization, Montréal, Canada (July 2004)
- [2] EUROCONTROL: Aeronautical Information Management Strategy. 4th edn. European Organisation for the Safety of Air Navigation, Brussels, Belgium (March 2006)
- [3] Grothe, C., Bauer, S., Klingauf, U.: Overcoming the Media Breaks in AIS: Dissemination of Operational Change Notifications by xNOTAM. In Estorff, O., ed.: AST 2007, Shaker Verlag (March 2007) 303-312
- [4] Booch, G., Rumbaugh, J., Jacobdon, I.: The Unified Modeling Language User Guide, Addison Wesley (1999)
- [5] EUROCONTROL: Aeronautical Information Exchange Model – Temporality Model, 2007
- [6] ISO/IEC 11578:1996: Information technology -- Open Systems Interconnection -- Remote Procedure Call (RPC), International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland (1996)
- [7] ISO/IEC 9834-8:2005: Information technology -- Open Systems Interconnection -- Procedures for the operation of OSI Registration Authorities: Generation and registration of Universally Unique Identifiers (UUIDs) and their use as ASN.1 Object Identifier components, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland (2005)
- [8] ISO: ISO 19107:2003: Geographic information Spatial schema. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland (2003)
- [9] Lake, R., Burggraf, D., Trinic, M., Rae, L.: GML – Geography Markup Language: Foundation for the Geo-Web. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA (April 2004)
- [10] ISO: ISO 19136:2007: Geographic information – Geography Markup Language (GML). International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland (2007)
- [11] EUROCONTROL: Global AIS Congress & Exhibition – Summary report of the global AIS congress (2006), http://www.eurocontrol.int/aim/gallery/content/public/pdf/congress_final_report.pdf
- [12] EUROCONTROL: xNOTAM Trial Technical Specification, European Organisation for the Safety of Air Navigation, Brussels, Belgium (July, 2007), http://www.aixm.aero/gallery/content/public/digital_notam/EUROCONTROL/xNOTAM%20Trial%20-%20Technical%20Specification.pdf
- [13] FAA Digital NOTAM Project, http://www.aixm.aero/public/standard_page/digital_notam_faa.html

³ <http://www.aixm.aero>