



**1/01**

**Informationen aus dem Bereich  
Forschung und Entwicklung  
der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH**



**DFS** Deutsche Flugsicherung

Liebe Leserinnen, lieber Leser,

es erscheint sicher ungewöhnlich, dass in dieser Zeitschrift ein Vorwort des Redaktionsteams erscheint. Es soll auch hiermit kein neuartiger „Schnörkel“ für diese eher technische Publikation eingeführt werden, wir werden in Zukunft wieder allein unseren Autoren das Wort geben.

Es hat aber seit der letzten Ausgabe von „SE im Fokus“ eine Reihe von maßgeblichen Veränderungen gegeben:

- zum einen ist auch für unseren Bereich die ab Januar 2001 in Kraft getretene Zielorganisation der DFS nicht ohne eine Reihe (primär interner) Auswirkungen geblieben – nach außen sichtbar ist zunächst einmal die Änderung des Organisationskürzels von „SE“ nach „TE“ und die Änderung der Bereichsbezeichnung in „Forschung und Entwicklung (F&E)“. Dementsprechend haben wir auch das Logo dieser Zeitschrift angepasst.
- zum zweiten ist der Bereich F&E im Juni in das neue „Forschungszentrum“ am Standort Langen umgezogen, das nebenbei quasi auch Modellcharakter für das offene Bürokonzept der neuen Hauptverwaltung hat. Und welche Möglichkeiten sich aus der deutlich optimaleren Infrastruktur z.B. für Simulationen und Prototyp-Entwicklungen ergeben, wird zu gegebener Zeit Gegenstand weiterer Artikel im „TE im Fokus“ sein – momentan jedenfalls bedeutet der Wiederaufbau des Advanced Function Simulator (AFS) oder der CNS Infrastruktur noch reichlich viel Arbeit für unsere direkt betroffenen Mitarbeiter und hat naturgemäß hohe Priorität.

Ihr Redaktionsteam



## Inhalt

Harald Fischer <b>CORAL – A/D Converter, Recorder and Analyser</b>	<b>3</b>
Dr. Andreas Herber <b>Kopplung des AFS der DFS mit der AVENUE Plattform</b>	<b>7</b>
Oliver Reitenbach <b>ADS-B Kapazitätsabschätzungen bei VDL Mode 4</b>	<b>12</b>
Dr. Thomas Bierwagen, Dr. Ralph Leemüller, Wolfgang Jekl <b>Prototyping für ein P1 Simulationssystem</b>	<b>19</b>
<b>Impressum</b>	<b>23</b>

## CORAL – A/D Converter, Recorder and Analyser

Harald Fischer, TEA

### Allgemein

Das Luftverkehrsaufkommen hat in den zurückliegenden Jahrzehnten stets zugenommen und wird nach der vorherrschenden Meinung auch weiterhin ansteigen. Die Aufgabe der DFS ist es, die benötigte Luftraumkapazität bedarfsgerecht, unter Beibehaltung des hohen Sicherheitsstandards, weiterhin zur Verfügung zu stellen.

Die Zuverlässigkeit der für die Ortung von Luftfahrzeugen eingesetzten Sekundärradar-Systeme hängt neben systeminternen Güteparametern von der Verfügbarkeit der für die Übertragung von Informationen (Mode A, Mode C, Mode S Extended Squitter) benötigten Bandbreite ab.

### Hintergrund

Bei der gemeinsamen Nutzung von Übertragungsbandbreite durch mehrere Nutzer gibt es verschiedene Verfahren, um eine störende, gegenseitige Beeinflussung der Nutzer untereinander zu verhindern. Die klassischen Varianten stellen dabei die Frequenz- und die Zeitmultiplex-Techniken dar, eine neuere Technik ist der Codemultiplex.

Beim Frequenzmultiplex wird die insgesamt verfügbare Bandbreite auf verschiedene Kanäle aufgeteilt, die dann für eine bestimmte Kommunikationsbeziehung reserviert werden können. Diese Technik wird z.B. im Rundfunkbereich angewendet, in der Flugsicherung findet sie z.B. im Sprechfunk Anwendung.

Beim Zeitmultiplex erfolgt eine zeitliche Synchronisierung der einzelnen Signale, die dann von der verfügbaren Übertragungszeit einen gewissen Anteil zugewiesen bekommen. Beiden Verfahren ist gemein, dass die jeweiligen Nutzinformationen verschiedener Kommunikationsbeziehungen voneinander getrennt übertragen werden. Bei der im Mobilfunk eingesetzten Codemultiplex-Technik wird dem eigentlichen Nutzsignal ein Codesignal überlagert, das für jede Kommunikationsbeziehung individuell zugewiesen wird. Die Übertragung mehrerer

Übertragung mehrerer Signale erfolgt im selben Zeit- und Frequenzbereich, die einzelnen Signale können jedoch im Empfänger aufgrund des überlagerten Codes eindeutig identifiziert werden.

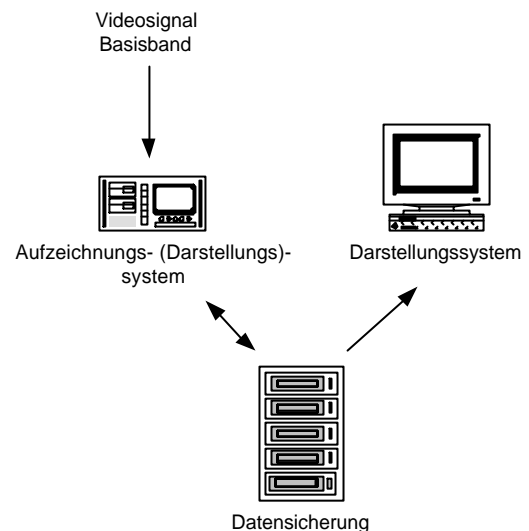


Abbildung 1: Schematische Systemdarstellung CORAL

Beim Sekundärradar werden die Signale richtungsabhängig auf zwei Frequenzen aufgeteilt. Die Abfrage der Information erfolgt auf 1030MHz, die Antwort auf 1090MHz. Eine Koordination bezüglich des Kanalzugriffes zwischen mehreren Abfragern oder antwortenden Luftfahrzeugen erfolgt nicht. Eine Überlagerung von mehreren Abfrage- oder Antwortsignalen ist daher prinzipiell möglich. Durch die Einführung von ACAS wurde diese Situation noch verstärkt, da hierdurch eine Abfrage nicht mehr allein durch bodengestützte sondern auch durch bordgestützte Systeme erfolgt. Eine weitere Zunahme der Kanalbelastung, bzw. Reduktion der verfügbaren Bandbreite und damit auch der destruktiven Überlagerung verschiedener Signale, ist durch eine mögliche Einführung von ADS-B/C über Mode-S Extended Squitter zu erwarten. Um eine sichere Voraussage treffen zu können, welche Anforderungen noch durch die genutzten Übertragungskanäle 1030/1090MHz abgedeckt werden können, ist eine Kenntnis der Kanalbelas-

tung und die daraus resultierende Signalqualität notwendig. Beides, Kanalbelastung und Signalqualität, lässt sich zuverlässig und vor allem nachvollziehbar nur durch die Aufzeichnung der tatsächlichen Signale im Zeitbereich (Video) ermitteln. Die gleichzeitige, kontinuierliche Aufzeichnung der 1030/1090MHz Videosignale über mehrere Stunden und deren Offline-Darstellung stellt das System CORAL zur Verfügung.



Abbildung 2: Systemaufbau während der Abnahme

### Kernfunktionalitäten von CORAL

- Abtastung, Quantisierung und Speicherung von Videosignalen
- Abtastrate 10MHz, Quantisierung 8Bit
- Unterbrechungsfreie Aufzeichnung von 3 Stunden Dauer
- 2-kanalige Aufzeichnung
- Datensicherung auf externes Medium
- Trennung in Aufzeichnungs- und Auswertungssystem
- Flugzeugtaugliches Aufzeichnungssystem (Spannungsversorgung)
- Rudimentäre Analysefunktionalität auch in Aufzeichnungssystem

### Das CORAL -Aufzeichnungssystem

Das CORAL-Aufzeichnungssystem (CORAL-R) dient der digitalen Aufzeichnung von einem oder zwei Analogsignalen, wie sie bei der Untersuchung und Überwachung von Radarsystemen auftreten. Das CORAL-R System besteht aus einem leistungsfähigen Rechner auf PC-Basis mit Festplatten hoher Kapazität, auf denen die Daten für eine spätere Auswertung digital gespeichert werden. Die Auswertung ist mit dem CORAL-A System möglich.

Das Rechnersystem verfügt über ein Niederspannungsnetzteil, das den Betrieb an einer 28V Gleichspannungsquelle ermöglicht. Hierdurch ist der Einsatz des Aufzeichnungssystems an Bord eines Luftfahrzeugs möglich, es muss jedoch beachtet werden, dass es nicht über eine Zertifizierung für diesen Einsatz verfügt. Speziell für den mobilen Einsatz besitzt das System ein Touch-panel-Bedienfeld, über welches das System ohne Einschränkungen gesteuert werden kann.

Durch die 2-kanalige Konzeption des Systems ist es möglich, den SSR Abfrage- und Antwortkanal (1030/1090MHz) synchron aufzuzeichnen. Die zeitliche Steuerung der Aufzeichnung wird durch den Einsatz eines GPS-Moduls gewährleistet, welches neben der Zeitinformation auch die Position des Meßsystems liefert. Beide Informationen, Aufzeichnungszeit und Position, werden mit dem abgetasteten Signal aufgezeichnet, somit ist eine Zuordnung der aufgezeichneten Daten zu Aufzeichnungsort und -zeitpunkt bei der Offline-Analyse stets möglich.

### Aufzeichnungskapazität

Die aufzuzeichnenden Signale werden mit 10MHz abgetastet und mit 8Bit quantisiert abgespeichert, womit prinzipiell beliebige analoge Signale mit einer maximalen Bandbreite von 5 MHz für eine Offline-Analyse aufgezeichnet werden können. Die mögliche Aufzeichnungsdauer wird bestimmt durch die vorhandene Festplattenkapazität, zur Zeit 3 x 73GB, aus der sich eine Dauer von mehr als drei Stunden, bei zweikanaliger Aufzeichnung, ergibt. Um die mögliche Aufzeichnungsdauer zu erweitern, wurde in CORAL-R ein Komprimierungsalgorithmus integriert. Dieser Algorithmus nutzt die Tatsache, dass auf den Radarkanälen kein zeitlich kontinuierliches Signal aufgezeichnet werden muss. Der Bediener hat die Möglichkeit einen Amplitudenschwellwert individuell für jede Aufzeichnung vorzugeben, ab dem die anliegenden Signale aufgezeichnet werden. Liegt die Amplitude unterhalb von diesem Wert, wird statt der Daten ein Pausensignal in die Daten eingefügt, wodurch der Zeitbezug auch im komprimierten Datenstrom erhalten bleibt. Die erzielbare Kompressionsrate ist dabei unmittelbar abhängig vom Verhältnis der ausgeblendeten zu den aufgezeichneten

ten Daten, bei Tests mit einer stark gebündelten Antenne (relativ kleiner Nutzsignalanteil) konnte die Aufzeichnungskapazität um den Faktor 100 erhöht werden.

### Datenarchivierung

Die Archivierung der Daten erfolgt über ein externes, flexibel nutzbares Bandlaufwerk, das über eine SCSI-Schnittstelle, je nach Bedarf, an das Aufzeichnungssystem, Analysesystem oder auch andere Rechnersysteme angeschlossen werden kann. Als Speichermedium werden DAT-Kassetten (60GB/Kassette) verwendet, die eine relativ kostengünstige Möglichkeit zur Langzeit-speicherung bieten.

### Das CORAL - Analysesystem

Das Auswertesystem CORAL-A dient zur Analyse der mit CORAL-R aufgezeichneten Files. Hierzu werden die mit CORAL-R aufgezeichneten Daten von dem Festspeichermedium geladen und in einer einem Oszilloskop ähnlichen Form dargestellt.

Nach dem Laden einer Datei werden beide aufgezeichneten Kanäle auf der Nutzeroberfläche abgebildet. Zur Unterstützung der Analyse sind neben der eigentlichen Signaldarstellung verschiedene Bedien- und Visualisierungshilfen in die Nutzeroberfläche integriert. Zur Navigation innerhalb der Daten existieren zwei Rollbalken, mit denen der dargestellte Zeitbereich kontinuierlich verschoben werden kann. Damit ist eine sehr exakte Einstellung des gewünschten Zeitbereichs möglich. Durch eine variable Zeitbasis,  $5\mu\text{s}$ -1s, kann dabei der Umfang des dargestellten Zeitbereichs an die Analyseanforderung und die Informationsdichte flexibel angepasst werden. Zur schnellen Navigation können entweder Zeitpunkte direkt

angewählt werden oder Signale mit einer Mindestamplitude innerhalb der Daten automatisch gesucht werden. Zum genauen Ablesen von Zeitpunkten und Signalamplituden können Marker auf die interessierenden Datenpunkte gelegt werden, der entsprechende Wert wird in einer separaten, digitalen Anzeige visualisiert. Sowohl für die Zeit- als auch die Amplitudenmessung existieren zwei Marker, so dass nicht nur Datenpunkte sondern auch Differenzen gemessen und digital dargestellt werden können. Die Messung von Zeitdifferenzen ist auch kanalübergreifend möglich, so dass z.B. bei einer simultanen Aufzeichnung der 1030/1090MHz-Kanäle der Zeitbezug zwischen SSR-Abfrage und Antwort nachvollzogen werden kann.

### Ausblick

Mit der Kombination aus CORAL-R und CORAL-A besitzt die DFS ein System, das zur Digitalisierung, Speicherung und nachträglichen

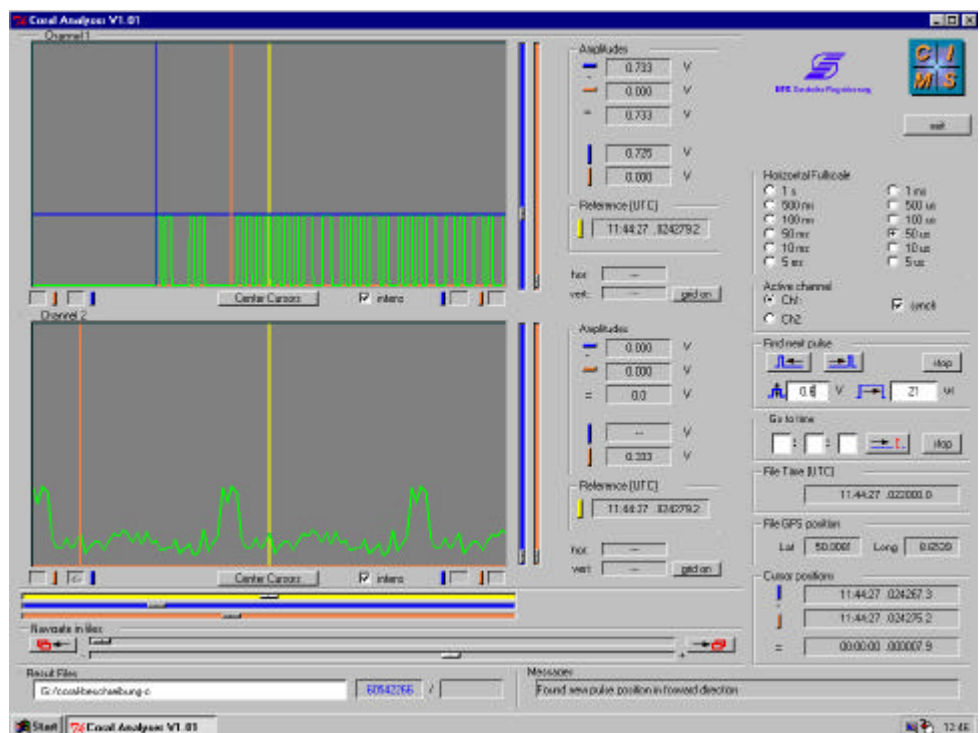


Abbildung 3: Darstellungssystem

Analyse von Analogsignalen der maximalen Bandbreite 5 MHz geeignet ist. Das System ist in seiner gegenwärtigen Ausbaustufe für den Einsatz als Offline-Analysetool von SSR-Signalen

vorbereitet, es sind jedoch auch andere Einsatzgebiete denkbar.

Das Analysesystem CORAL-A bietet derzeit neben der Zeitbereichsdarstellung der aufgezeichneten Signale dem Nutzer in erster Linie Navigationsfunktionalitäten und Unterstützung beim Ablesen der Daten aus der graphischen Darstellung. Die vorhandenen Navigationselemente, zeit- und amplitudenselektiv, sind noch nicht auf SSR-Signale zugeschnitten. Suchfunktionen für verschiedene SSR-Modi, Mode-S Adressen etc. würden die Systemfunktionalität sinnvoll erweitern.

Bei dem anfallenden Datenvolumen von 10MB/Sekunde ist offensichtlich, dass eine visuelle Prüfung nur für sehr kurze Zeitspannen sinnvoll möglich ist. Vielmehr wird die Kenntnis der statistischen Eigenschaften der Daten das primäre Analyseziel sein. Durch eine entsprechende Erweiterung der Systemsoftware könnte die Datenanalyse nahezu beliebig erweitert und vor allem automatisiert werden.

Dank seiner modularen Bauweise - Trennung von Aufzeichnungs- und Analysesystem- könnte das CORAL-R System z.B. als Subsystem zur Aufzeichnung auffälliger Sequenzen in einem Funkfeldmonitor eingesetzt werden. Für diesen Einsatz müsste die Steuerlogik des Aufzeichnungssystems lediglich durch einen externen Triggereingang zum Funkfeldmonitor erweitert werden.

**Abkürzungen**

ACAS	Airborne Collision Avoidance System
ADS-B/C	Automatic Dependent Surveillance -Broadcast/Contract
CORAL	A/D Converter Recorder and Analyser
DAT	Digital Audio Tape
GB	Gigabyte
GPS	Global Positioning System
MB	Megabyte
MHz	Megahertz
PC	Personal Computer
SCSI	Small Computer System Interface
SSR	Secondary Surveillance Radar

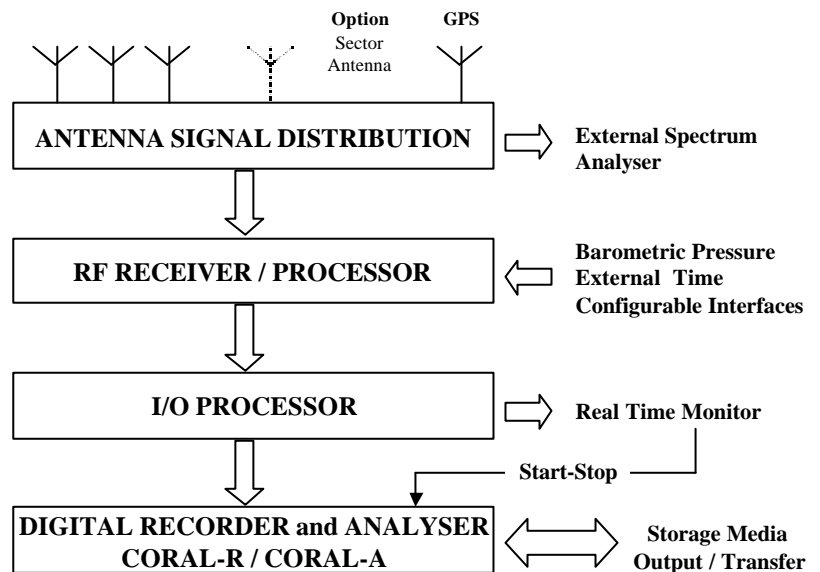


Abbildung 4: Mögliche Struktur eines Funkfeldmonitors unter Einbeziehung von CORAL

# Kopplung des AFS der DFS mit der AVENUE Plattform

## ... auch ein erster Schritt zu verteilten Simulationen ?

Dr. Andreas Herber, TEA

Das von der Europäischen Kommission geförderte Projekt "AVENUE" war bereits Anlass zu früheren Artikeln (01/99 und 02/00). Inzwischen ist das Projekt beendet, dieser Artikel erläutert daher die erreichten technischen Ziele und den Beitrag der DFS für die Simulationen zum Projektabschluss im März 2001.

### Was sollte erreicht werden?

AVENUE hatte die Definition einer offenen Architektur für eine zukünftige ATM Plattform (also inkl. z.B. Data Link, CP<sup>1</sup>, TP<sup>2</sup> und FPM<sup>3</sup>) und die Realisierung einer ersten Instanz als Nachweis der Machbarkeit der entwickelten Architektur zum Ziel. Nachdem das Kernstück der Bodenkomponente eines (primär wegen der offenen Systemarchitektur, nicht der Funktionalität) zukünftigen ATM Systems am EEC in Brétigny realisiert worden war, stand als ein elementarer Bestandteil die Kopplung dieses Systems mit dem AFS (Advanced Function Simulator) in Langen und die Durchführung einer gemeinsamen Simulation zum Nachweis der Interoperabilität an (sog. „Technical Exercise“).

### Was war dazu technisch zu realisieren?

#### a) Anpassungen am AFS

Die notwendigen Erweiterungen am AFS betrafen vier Bereiche:

- bidirektionaler Austausch von Positionsdaten der „eigenen“ Ziele in Form von WGS84-Koordinaten und „hand-over“ der Steuerung von Flugzielen an der Sektorgrenze zum Simulationspiloten im „Nachbarcenter“;
- grundlegende Plattform-Synchronisation (start, init, unfreeze, stop). Auf eine kontinuierliche Synchronisation konnte im Rahmen von AVENUE verzichtet werden, da die durchzuführenden Szenarien mit 1,5 Stunden

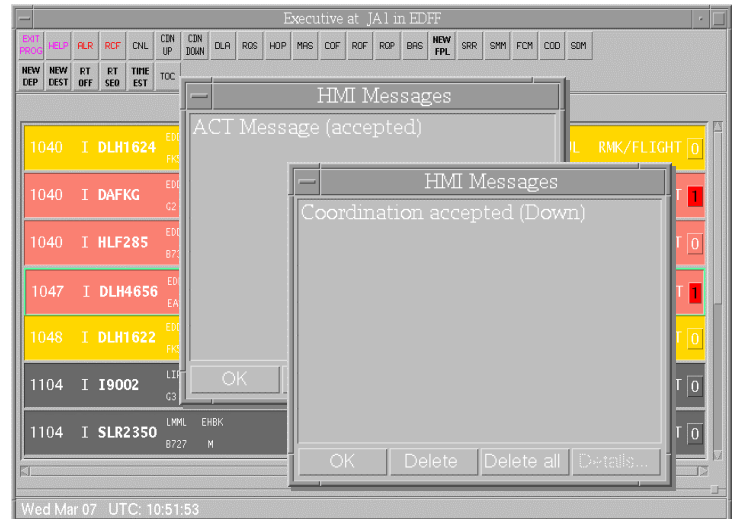


Abbildung 1: FlipCof-HMI für die OLDI-Kommunikation vom AFS

maximaler Dauer ausreichend kurz waren und so der maximale Drift zwischen den Plattformen deutlich kleiner war als die Netzlaufzeit-Schwankungen;

- Boden-Boden-Koordination via OLDI (OLDI mandatory, d.h. ABI, ACT, LAM); zwar wurde dieses Protokoll vom AFS schon früher verwendet, aber im sog. ICAO-Format. Bei AVENUE kam dagegen ADEX-P zum Einsatz, da der notwendige message-parser für das zu entwickelnde Gateway (JAG, s.u.) nur

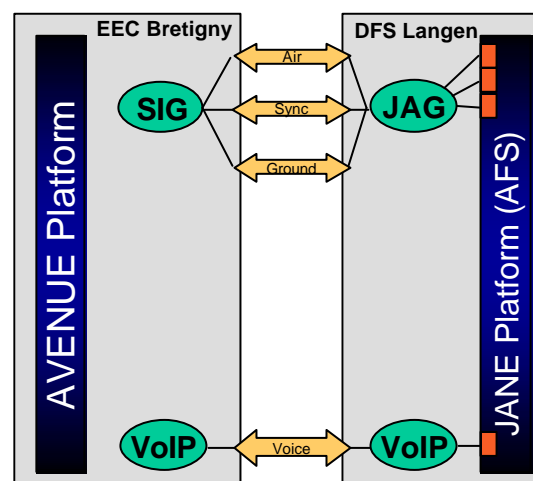


Abbildung 2: Anpassungen am AFS und Verbindung zum EEC

<sup>1</sup> Conflict Probe  
<sup>2</sup> Trajectory Predictor  
<sup>3</sup> Flight Path Monitor

für dieses Format vorhanden war.

- Kopplung der Sprachsysteme via Voice over IP (VoIP), da seitens des EEC für alle Simulatoren VoIP-Systeme verwendet wurden (AudioLAN) und dies als „de-facto-Standard“ auch für die DFS von Interesse war.

Darüber hinaus wurde ein Gateway (JAG=JANE AVENUE Gateway) entwickelt, das die vom AFS ausgekoppelten Signale auf entsprechende „services“ und „events“ in der für die Kopplung verwendeten „High Level Architecture“<sup>4</sup> der SIMINGA-Komponente<sup>5</sup> umsetzte (s. Abbildung 2). Weiterhin musste das proprietäre Sprachkommunikationssystem des AFS, ein DENRO System, in Richtung „Voice over IP (VoIP)“ geöffnet und ein AudioLAN-System bei der DFS installiert werden (siehe „SE im Focus 02/00 und Abbildung 3). Diese Adaptionsarbeiten wurden von unserem Bereich mit Unterstützung von Vertragsfirmen (UFA, CAM, Neosys) ausgeführt.

b) Voraussetzungen an der AVENUE-Plattform

Das Gegenstück für die Simulatorkopplung war

Abbildung 3: AudioLAN HMI am AFS (Supervisor) für die Sprachkommunikation mit Brétigny

am EEC die Komponente „SIG“ (Simulator Interconnection Gateway), die über HLA die Verteilung der Daten übernahm (s. Abbildung 4):

- Positionsdaten von verschiedenen AVENUE-internen (ARTAS, IAS) und externen Quellen (JANE Plattform, ECS [geplant, aber nicht integriert]) mussten an die Darstellungssysteme beider Plattformen weitergereicht werden;

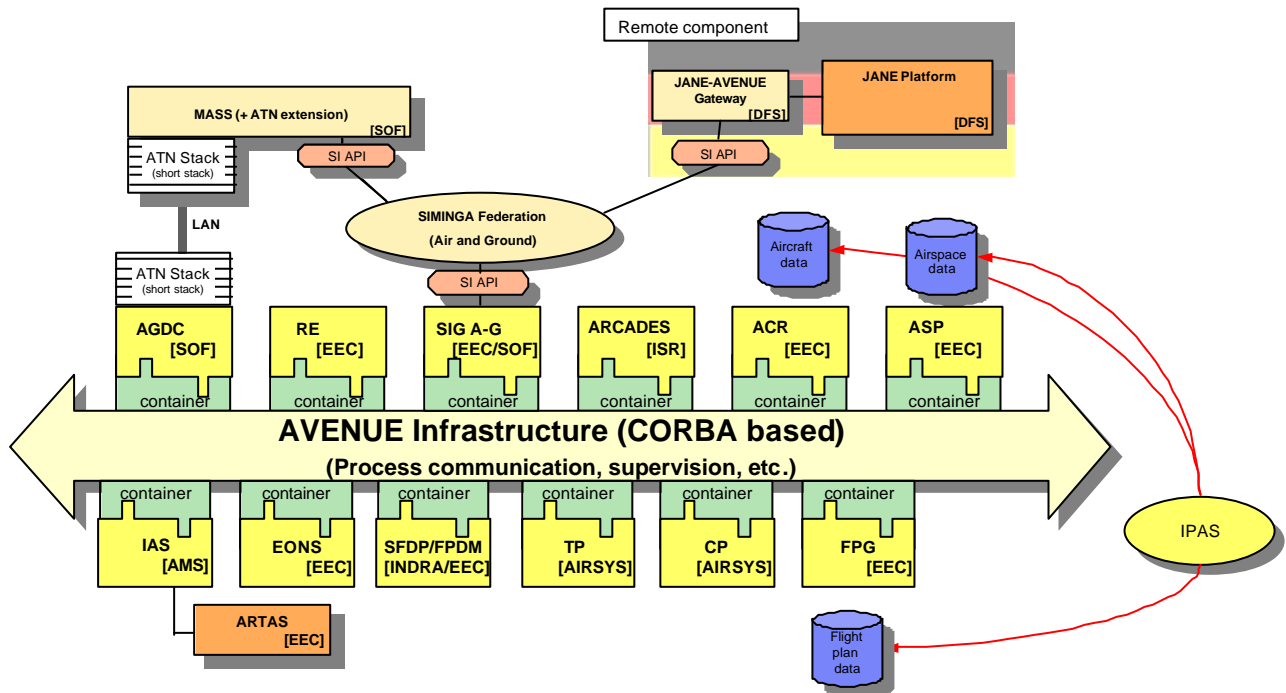


Abbildung 4: Die AVENUE-Plattform am EEC

<sup>4</sup> High Level Architecture (Client/Server basiert), siehe <http://www.hla.org>

<sup>5</sup> Simulator Interconnection Gateway, auf HLA basierende Komponente der CENA

- Koordinationsmeldungen (OLDI ABI, ACT, LAM) mussten zum jeweils betroffenen FDPS-System (AVENUE: SFDP, AFS: Flip-COF) geleitet werden;
- grundlegende Plattform-Synchronisationsmeldungen (CORBA) mussten als HLA-Nachrichten verteilt werden. Dabei wurde der AFS zuerst lokal bis zum „freeze“-Modus hochgefahren und dann von der AVENUE-Plattform gestartet (Warmstart), um einen synchronen Anlauf zu garantieren.
- bezüglich der Sprachkopplung waren am EEC mit deren VoIP-System wesentliche Voraussetzungen erfüllt, die Lösung der Netzwerkprobleme für die erfolgreiche Netzwerk-Verbindung zur DFS und die Anpassung der Konfigurationsdateien war allerdings ausgesprochen zeitaufwendig. Schwierigkeiten ergaben sich bei der TK-Anlage, den Routern und beim Multicast-Routing.

c) Realisierung der Verbindungen

Für die Kopplung der beiden Simulationssysteme wurde eine Ethernet-Verbindung über maximal vier ISDN-Leitungen (8 B-Kanäle á 64 Kbps) realisiert. Dazu wurden auf beiden Seiten (gezielt gleiche) CISCO-Router (CISCO 4700 M) eingesetzt, wobei eigentlich eine lastabhängige Steuerung der aktivierten B-Kanäle vorgesehen war. Beide Applikationen (d.h. Sprache und Daten) verlangten eine Multicast-Verbindung. Das Wesentliche der Multicast-Konfiguration war die

Verwendung des IP PIM DENSE Mode und das Tunneln der Daten über einen IP-Kanal.

d) Tests

Nach erfolgreichen lokalen Vortests mit zwei AFS-Instanzen und einem lokalen AudioLAN System begannen die Tests zwischen Langen und Brétigny. Grundlegende Netzwerk-Tests waren schnell erfolgreich, und auch die reinen Datenverbindungen (SIG ↔ JAG) waren (bis auf anfängliche geringe Probleme durch Unterschiede bei den Realisierungen von SIG und JAG) wenig problematisch. Das hand over von Flugzielen wurde sowohl im automatischen Modus als auch im „piloted mode“, also nach Änderung des Flugverlaufs durch Lotseneingriff (s. Abbildung 5) überprüft. Allerdings war die Realisierung einer „guten“ Sprachverbindung (R/T und Telephonie) aufgrund unsystematischer Fehler sehr zeitaufwendig, da bereits geringe Verzögerungen und ungleichmäßige Netzlaufzeiten zu abgehackter Kommunikation führten. Dabei ist anzumerken dass das Anwählen einer internationalen ISDN-Verbindung bis zu 4 Sekunden dauern kann, die rechtzeitige Bereitstellung ausreichender Kanäle durch adäquate Wahl der „load threshold“ also elementar ist. Unklar blieb weiterhin:

- in etlichen Fällen mussten die von AudioLAN vorher erfolgreich verwendenden Multicast Adressen wieder geändert werden, damit überhaupt eine Sprachverbindung zustande kam; Verdachtsmomente liefen auf eine Art Zugangsbeschränkung o.ä. in den eingesetzten Routern hin, konnten aber nicht mehr endgültig analysiert werden;

- es konnte im Router keine „access list“ verwendet werden, um den Netzwerkverkehr in den definierten Tunneln auf die relevanten Daten zu beschränken; eine aktivierte „access list“ hat jedes mal dazu geführt, dass die Sprachkommunikation nicht zustande kam. Die Vermutung bleibt, dass für die Sprachverbindung irrelevante Datenmengen, die

ID	Callsign	AFL	↑	RoC/D	IAS	Hdg	→	Fix	bear	Dest
fnode	Type	CFL	RFL	c.l.C/D	c.l.IAS	c.l.Hdg	TRate	Status	dist	SSR
1	EBA933	310		284	087		FFM	087	N/A	
auto	B735/M			284			enroute	74	7522	C
2	AEF357	310		284	001		ARCKY	001	N/A	
auto	MD80/M			284			enroute	5	6647	C
4	SAB952	310		284	348		GOTIL	?	N/A	
auto	B737/M			284			?		2235	C
5	DLH4262	220		316	255		KIR	255	N/A	
auto	B735/M			316			enroute	30	6562	C
6	TAP581	240		308	255		KIR	255	N/A	
auto	B735/M			308			enroute	30	5773	C
7	DLH4658	240		322	255		KIR	255	N/A	
auto	EA32/M			322			enroute	30	3001	C
8	IBE5527	240		308	255		KIR	255	N/A	
auto	MD80/M			308			enroute	37	4005	C

ID	No	Callsign	Type/Cat
4		SAB952	B737/M

AFL	RoC	RoD	By fix
310			
370	1634	3187	

Heading/Track	Orbit	TRate
348	← →	.00
← →	← →	deg 5.74

Route		
GOTIL		
DEP	DepRWY	SID
N/A		
DEST	DestRWY	STAR
N/A		
Bearing	000	NM 0 N/A
Lat/Long		

Abbildung 5: Pseudo-Pilot-HMI (gelb: von AVENUE übergebene Flugziele)

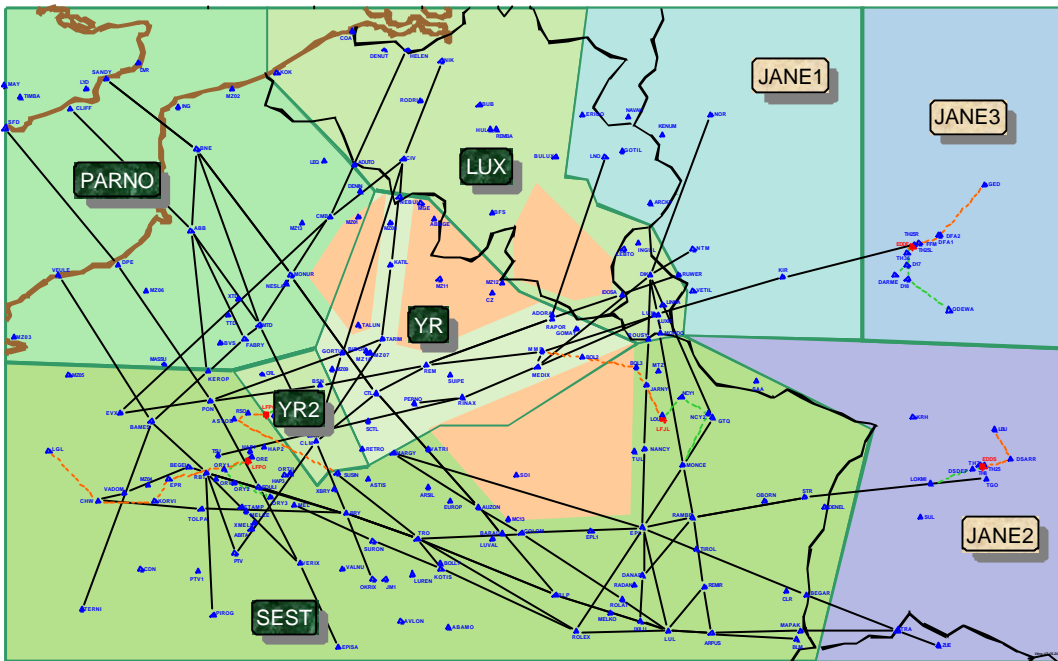


Abbildung 7: Das AVENUE Szenario (blau bzw. JANE1-3: vom AFS simulierte Sektoren)

erreichte Plattform-Funktionalität der Kommission präsentiert wurde, wurde folgendes (auf EATCHIP basierende) Szenario durchgespielt:

- Gesamtdauer = 90 Minuten; zwei „Center“ (AVENUE und JANE/AFS)
- 5 Sektoren (AVENUE) plus drei „feed“-Sektoren (AFS) inkl.

über die Multicast-Verbindung auch zur DFS gelangten, die verwendeten Kanäle unnötig belasteten. Angewandte Sicherheitsmethoden waren „mechanische Zugangskontrolle“, d.h. der Router wurde nur zu gemeinsamen Tests an das ISDN-Netz geschaltet, sowie ein Routerzugang mit Nutzerkennwort und Passwort.

Schließlich wurden Sprachverbindungen nur mittels des (verglichen mit dem angestrebten GSM-Codec bandbreiteintensiveren) PCM-Codec aufgebaut. Dennoch konnten alle Funktionalitäten entsprechend den vereinbarten Testprozeduren erfolgreich überprüft werden.

**Was wurde am Ende simuliert?**

Während des „Technical Exercise“, bei der die

SIDs und STARS (s. Abbildung 7);

- 140 Flugziele total, davon 40 im Transit von/nach DFS; keine Flüge allein innerhalb des deutschen Luftraums;
- Pseudo-Piloten-Handover plus OLDI-Kommunikation für Flüge im Transit
- häufige Telefon- und Sprechfunkverbindung zum Nachbarsektor und den Pseudo-Piloten im anderen „Center“

Das Szenario war dabei einem EATCHIP-Szenario entlehnt, am EEC mit IPAS definiert und in der DFS auf AFS-Dateien (site file und scenario file) konvertiert worden (s. Abbildung 6). Zwar lag das Hauptaugenmerk dabei auf AVENUE, und dementsprechend (unrealistisch) gering waren die Flugbewegungen in den deutschen Sektoren, aber dennoch konnte damit der Nachweis der Machbarkeit einer Center-Center-Kopplung für Realzeitsimulationen mit derart unterschiedlichen Plattformen erbracht werden.

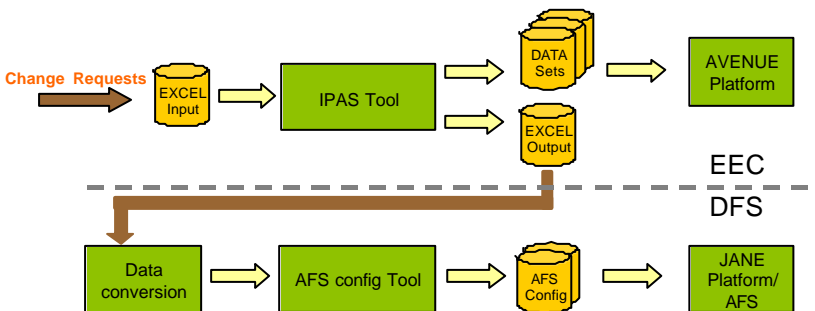


Abbildung 6: Prinzip der „Data Preparation“ bei AVENUE

**Was waren die Erfahrungen?**

Insgesamt kann die gemeinsam durchgeführte Simulation als sehr erfolgreich angesehen werden. Die

Sprachkommunikation zwischen AFS (DENRO-Umgebung) und AVENUE-Plattform (VoIP) war während der gesamten Simulationsdauer des „Technical Exercise“ problemlos, also ohne Unterbrechungen etc. Das AudioLAN-DENRO Gateway als erste Implementierung der Anbindung eines „klassischen“ Sprachsystems an ein VoIP-System funktionierte reibungslos. Die Übermittlung von OLDI-Nachrichten verlief problemlos, wobei allerdings anzumerken ist, dass keine weitere funktionale Verarbeitung einer erfolgreichen Koordination in den Plattformen stattfand (z.B. durch Anzeige auf der CWP). Auch das beidseitige Handover von Zielen mit Piloten-Eingriff und daher vom Flugplan abweichenden Werten (Heading, Höhe, SSR Code etc.) klappte. Die vom AFS übergebenen Zieldaten waren korrekt und zeitgerecht in die AVENUE-Plattform übernommen worden (d.h. die Daten im MASS<sup>6</sup> waren korrekt).

Die Kapazität der Netzwerkverbindung zwischen DFS und EEC wurde unter der Annahme eines verkehrsreicheren Szenarios (auch im deutschen Luftraum) festgelegt; tatsächlich wurden während der Tests mit dem festgelegten Szenario, je nach Sprachverkehr, nur (wie erwartet) zwischen drei und fünf B-Kanäle belegt, wobei allerdings immer leichte Sprachaussetzer etc. verblieben (s.o.). Während des „Technical Exercise“ wurden deshalb alle acht Kanäle permanent aktiviert, was erwartungsgemäß zu keinen Problemen in der Verbindung zwischen beiden Plattformen führte.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Verwendung von „multicast“-Verbindungen und die Applikation „Sprache“, die auf Netzwerkschwankungen sehr kritisch reagiert, offensichtlich eine genauere Belastungsanalyse an unterschiedlichen Teilen der Kommunikationskette und nachfolgende sorgfältigere Optimierung der Router-Parameter verlangt als es hier möglich gewesen war.

### Referenzen:

Component Adaptation Document for the Component: JANE Interoperability, AVENUE, Ref AVE/DFS/WP3/D3115F01\_JANE, 18/01/2001

Integration Test Description / Integration Test Result << interconnection (data) between adjacent simulators >>, AVENUE, Ref. AVE/DFS/WP4/T4204F07\_data\_xfer-ITD, 12/03/2001

Integration Test Description / Integration Test Result << interconnection (voice) between adjacent simulators >>, AVENUE, Ref. AVE/DFS/WP4/T4202F02\_voice\_xfer-ITD, 14/02/2001  
Multi Aircraft Simulation System (=ATG)

Eine Access List sollte bei Multicast-Anwendungen zur Optimierung der benötigten Bandbreite unbedingt verwendet werden. Auch sollte ein stärkeres Augenmerk auf einen bandbreiteoptimierten Sprachcodec (z.B. GSM) gelegt werden.

### Was bedeutet das Ergebnis für die DFS?

Wenn auch die durchgeführte Simulation mit 1,5h und 140 Flugzielen in einem derart großen Simulationsgebiet nur einer schwachen Verkehrsbelastung entspricht, so lässt sich doch ein Potenzial für zukünftige verteilte Großsimulationen feststellen, indem z.B. Teile des deutschen Luftraums in Langen anstatt in Brétigny simuliert werden. Technische Kapazitätsengpässe waren nicht aufgetreten oder absehbar. Somit ließe sich der Einsatz von Fluglotsen für derartige Simulationen effektiver gestalten. Das setzt natürlich eine sehr genaue Abstimmung bei der Vorbereitung und Auswertung der durchzuführenden Simulationen voraus.

Mit AVENUE wurden bei uns etliche wichtige Erkenntnisse mit der VoIP-Technologie gewonnen, die auch in neuen Simulatoren der DFS eingesetzt werden wird (z.B. NEWSIM). Und mit der erfolgreichen Erweiterung des Sprachkommunikationssystems des AFS in Richtung VoIP ist ein weiterer wichtiger Schritt für die Kopplung dieses R&D-Simulators mit anderen Systemen für DFS-eigene Arbeiten gemacht worden.

# ADS-B Kapazitätsabschätzungen bei VDL Mode 4

Oliver Reitenbach, TEA

## VDL Mode 4 - Technische Beschreibung

Der VHF Digital Link Mode 4 (VDL Mode 4), zur Zeit in der Standardisierungsphase durch ICAO, nutzt ein relativ neues Kanalzugriffsverfahren: STDMA - Self-Organizing Time Division Multiple Access.

Das Zugriffsverfahren ist eine Erweiterung des TDMA Zugriffsverfahrens (Time Division Multiple Access). Der Übertragungskanal ist zeitlich innerhalb von 1 Minute in 4500 Zeitschlitz unterteilt. Die Zeitdauer eines Zeitschlitzes beträgt somit ca. 13 Millisekunden. Jeder Teilnehmer kann für eine zu sendende Nachricht einen Zeitschlitz belegen. Während dieser Zeit steht ihm der Übertragungskanal exklusiv zur Verfügung. Beim klassischen TDMA Zugriffsverfahren übernimmt eine Master-Station, in der Regel eine Bodenstation, die Zuteilung der Zeitschlitz an die Teilnehmer.

Beim STDMA Zugriffsverfahren erfolgt keine Zuteilung der Zeitschlitz von einer zentralen Stelle aus. Die Teilnehmer regeln die Zuteilung der Zeitschlitz nach einem festgelegten Mechanismus selbst.

Als fester Bezugspunkt für alle Teilnehmer nutzt STDMA eine Zeitreferenz basierend auf UTC. Diese Zeitreferenz, auf die jeder Teilnehmer Zugriff haben muss, kann über einen Global Navigation Satellite Service (GNSS), also beispielsweise das GPS-System, gewonnen werden. Die Zeitreferenz bestimmt den Beginn der Zeitschlitz und den Beginn einer übergeordneten Einheit, dem Superframe. Ein Superframe beginnt jeweils am Anfang einer UTC Minute, erstreckt sich also über 4500 Zeitschlitz.

Anstelle der Zuteilung der Zeitschlitz durch eine Master-Station erfolgt die Belegung von Zeitschlitz durch vorherige Reservierung. Ein Teilnehmer, der eine Nachricht über den Datenkanal senden möchte, sendet vorab eine Reservierungsmeldung für einen Slot in der Zukunft. Diese Information wird von allen anderen Teilnehmern registriert und verhindert, dass ein zweiter

Teilnehmer in diesem Zeitschlitz sendet. An das Ende einer gesendeten Meldung kann eine weitere Reservierungsmeldung für die nächste Übertragung angehängt werden. Auf diese Weise erfolgen alle Übertragungen, mit der Ausnahme der ersten Übertragung eines neuen Teilnehmers, in vorab reservierten Zeitschlitz. Eine Datenkollision auf dem Übertragungskanal wird wirkungsvoll verhindert.

Jeder Teilnehmer empfängt ununterbrochen Reservierungsmeldungen von anderen Teilnehmern. Mit Hilfe dieser Reservierungsmeldungen wird eine Reservierungstabelle (slot allocation table) aufgebaut, die Aufschluss darüber gibt, welche Zeitschlitz für eine eventuelle Übertragung zur Verfügung stehen.

Reservierungsmeldungen werden in Synchronisationsbursts übertragen. Ein Synchronisationsburst enthält folgende Informationen:

- Eigene Adresse (source address)
- Positionsinformationen (longitude/latitude/altitude)
- Reservierungsinformation für zukünftige Zeitschlitz

Das STDMA-System nutzt verschiedene Reservierungsmeldungen:

- Periodic broadcast protocol  
Diese Reservierungsmeldung wird genutzt, um regelmäßig einen bestimmten Zeitschlitz in jedem Superframe (also jede Minute) zu reservieren.
- Incremental broadcast  
Mit dieser Reservierungsmeldung wird ein bestimmter Zeitschlitz sowie weitere Zeitschlitz in regelmäßigen Abständen vom ersten Zeitschlitz reserviert.
- Request Protocols  
Diese Reservierungsmeldung reserviert einen Zeitschlitz für einen anderen Teilnehmer. Request Protocol Meldungen kommen zum Einsatz, wenn ein anderer Teilnehmer auf eine Anfrage antworten soll. Zusammen mit der

Anfrage bekommt dieser Teilnehmer so auch einen reservierten Zeitschlitz für die Antwort zugewiesen.

- Information transfer request  
Ähnlich der letzten Reservierungsmeldung werden auch hier Zeitschlitz für die Antwort eines anderen Teilnehmers reserviert. Zusätzlich wird jedoch auch noch ein Zeitschlitz für die eigene Bestätigungsmeldung nach Abschluss des Informationstransfers reserviert.
- Fixed access  
Für Bodenstationen ergibt sich hiermit die Möglichkeit, bestimmte Zeitschlitz permanent für Übertragungen zu reservieren. Teilnehmern wird hiermit signalisiert, dass diese Zeitschlitz permanent von den Bodenstationen belegt werden.

### Slot-Wiederbelegung

Sind keine freien Zeitschlitz mehr vorhanden, besteht die Möglichkeit, die von einem entfernten Teilnehmer reservierten Zeitschlitz für die eigene Übertragung zu nutzen. Bei der Auswahl eines geeigneten Teilnehmers kommt eine der Stärken des Systems zum Tragen. Jeder Synchronisationsburst beinhaltet die Position des Teilnehmers. Zur Ermittlung des am weitesten entfernten Teilnehmers kann diese Information nun genutzt werden. Trotzdem bleibt die Frage bestehen, ab welcher Entfernung Zeitschlitz wiederbelegt werden dürfen.

Maßgeblich hierfür ist die minimal zulässige Gleichkanal-Störung, die als CCI (Co-Channel Interference) angegeben wird. Die zulässige Gleichkanal-Störung ist abhängig vom Modulationsverfahren und gibt an, mit wieviel mehr Leistung das Nutzsignal gegenüber dem Störsignal

empfangen werden muss. VDL Mode 4 verwendet das Modulationsverfahren GFSK (Gaussian-filtered Frequency Shift Keying); als CCI ist in der Literatur 12 dB angegeben.

Freie Wellenausbreitung im Raum vorausgesetzt kann der CCI-Wert in eine räumliche Entfernung umgerechnet werden. Die Entfernung zu einem Störer muss mindestens viermal so groß sein, wie die Entfernung zwischen den zwei Nutzern.

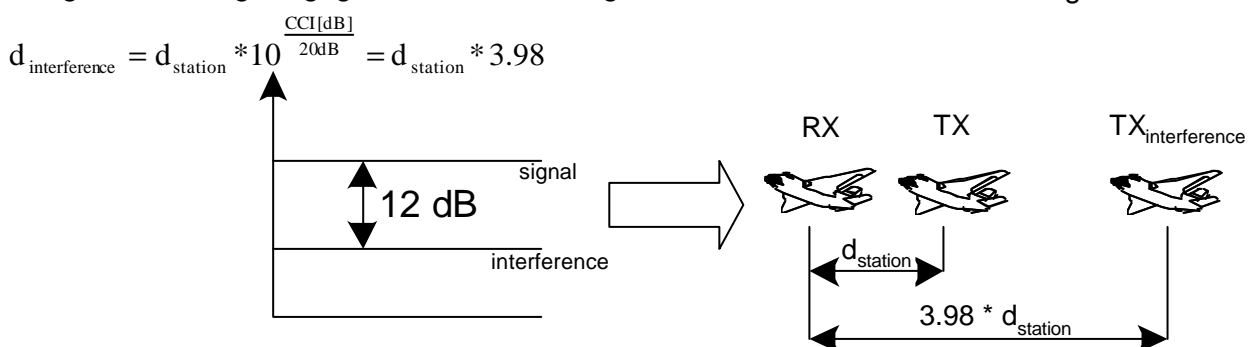
### Hidden Terminal

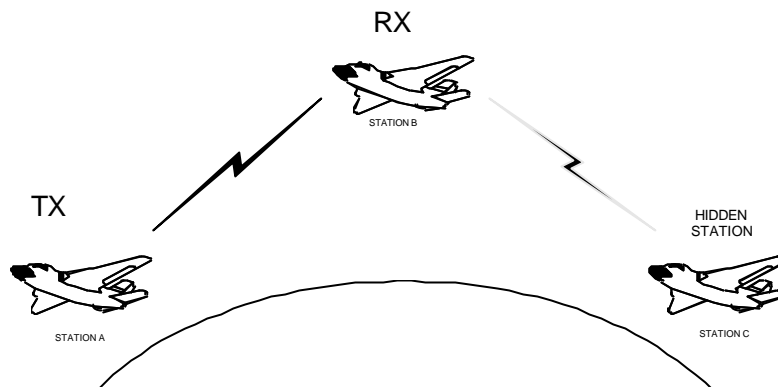
Hinter dem Begriff Hidden Terminal verbirgt sich ein prinzipielles Problem des Zugriffsverfahrens STDMA.

Wie zu Beginn beschrieben, basiert der Kanalzugriff bei STDMA auf einer Slot-Belegungstabelle, die durch den Empfang von Reservierungsinformationen aufgebaut wird. Reservierungsinformationen werden von allen Teilnehmern im Empfangsbereich aufgenommen. Der Empfangsbereich wird bei VDL Mode 4, einem Datenlink, der das STDMA Kanalzugriffsverfahren einsetzt, mit 200 NM angenommen. Im vorangegangenen Kapitel wurde gezeigt, dass Abstrahlungen im Bereich der 4fachen Entfernung zum Sender den Empfang beeinflussen.

Befindet sich ein Teilnehmer in einer Entfernung von 60 NM vom Sender, so beeinflussen Abstrahlungen im Bereich von 240 NM den Empfang. Sicher decodiert werden Aussendungen aber lediglich bis zu 200 NM, darüber hinaus ist die Empfangsfeldstärke zu gering für eine sichere Decodierung.

Bei Abstrahlungen von einem anderen Teilnehmer in einer Entfernung von 240 NM können Reservierungsmeldungen, die der andere Teilnehmer vor der Abstrahlung ausgesendet hat, nicht mehr decodiert werden. Folglich sind diese Slots

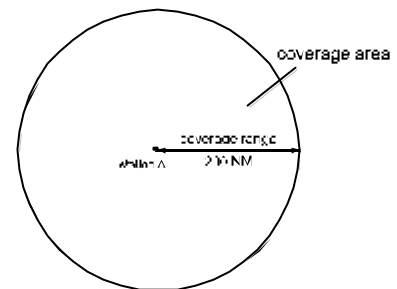




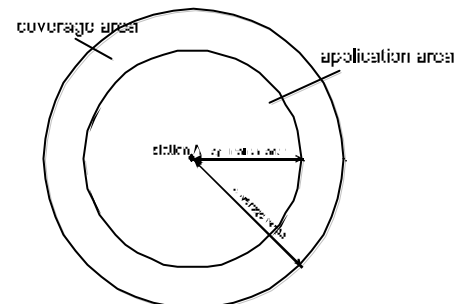
in der Reservierungstabelle auch nicht als „reserviert“ gekennzeichnet. Der Zugriff auf den Slot erfolgt, aus Sicht des eigenen Transceivers, unkontrolliert. Eine Kollision auf dem Datenkanal ist möglich.

Für die nun folgende Diskussion sind einige Definitionen nötig:

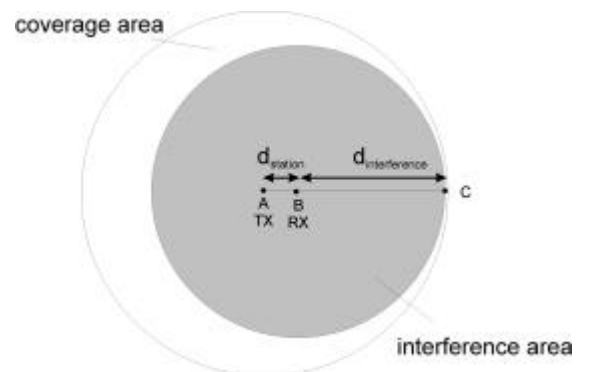
Der **Empfangsbereich** (Coverage Area) ist der Bereich um den Empfänger, in dem sich ein Sender befinden muss, damit das abgestrahlte Signal decodiert werden kann. In der theoretischen Betrachtung gehen wir von einem kreisförmigen Bereich mit einem Radius von 200 NM aus.



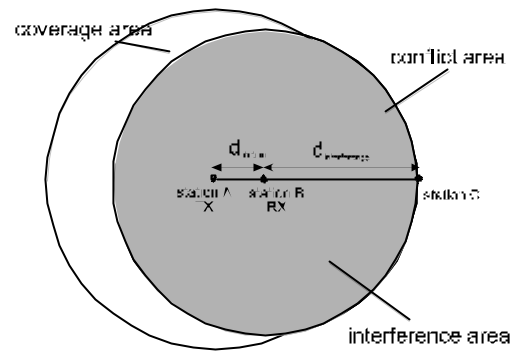
Auch der **Anwendungsbereich** (Application Area) ist ein kreisförmiger Bereich um den Empfänger. Sein Radius ist der maximale Abstand zwischen Sender und Empfänger, der für eine definierte Anwendung benötigt wird.



Der **Störungsbereich** (Interference Area) ist der Bereich um den Empfänger, in dem sich ein zweiter Sender befinden muss, um die Übertragung zwischen einem Sender und dem Empfänger stören zu können, falls beide Sender im gleichen Slot senden. Der Störungsbereich kann nur in Abhängigkeit von der Entfernung zwischen einem Sender und dem Empfänger definiert werden. GFSK als Modulationsverfahren bei VDL Mode 4 vorausgesetzt, ist der Radius des Störungsbereichs der vierfache Abstand zwischen Sender und Empfänger.

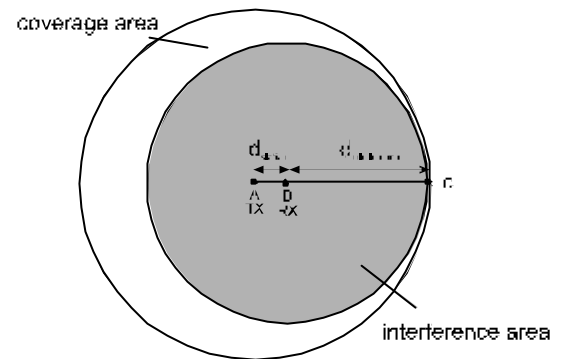


Ein **Konfliktbereich** (Conflict Area) entsteht immer dann, wenn es einen Störungsbereich außerhalb des Empfangsbereichs gibt. Weitere Sender, die sich innerhalb des Empfangsbereichs des ersten Senders befinden, sind in der Lage, Reservierungsmeldungen des Senders zu decodieren. Ein Zugriff auf einen bereits reservierten Slot ist damit ausgeschlossen. Befinden sich allerdings weitere Sender außerhalb des Empfangsbereichs des ersten Senders, können diese die Reservierungsmeldungen nicht mehr decodieren. Ein Zugriff auf einen bereits reservierten Slot ist möglich. Ein Konfliktbereich ist der Teilbereich des Störungsbereichs, der sich außerhalb des Empfangsbereichs befindet.

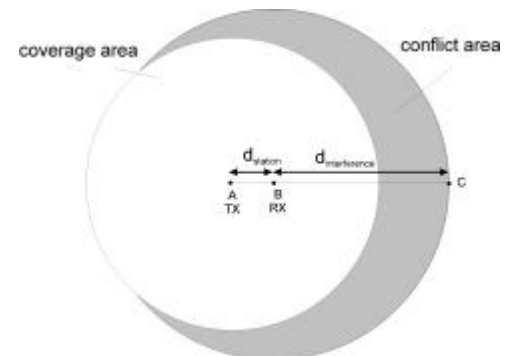


Mit diesen Definitionen lassen sich verschiedene Szenarien konstruieren:

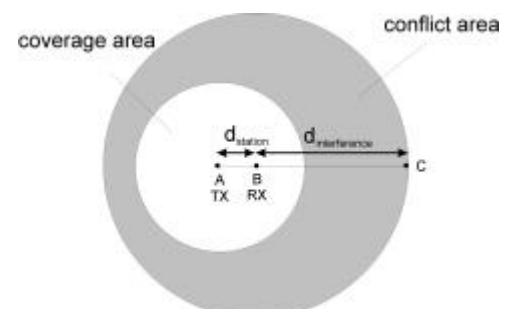
1. Der Abstand zwischen Sender und Empfänger beträgt **40 NM**. Der gesamte Störungsbereich liegt innerhalb des Empfangsbereichs, ein Konfliktbereich entsteht folglich nicht. Der Hidden Station Effekt beeinflusst nicht die Übertragungssicherheit.



2. Der Abstand zwischen Sender und Empfänger beträgt **60 NM**. Es existiert ein Konfliktbereich, dessen Größe aber, bezogen auf den Empfangsbereich, gering ist.



3. Bei einem Abstand von **90 NM** existiert ein Konfliktbereich, der deutlich größer ist als der Empfangsbereich.



## Übertragungswahrscheinlichkeit des VDL Mode 4 Data Links

Je größer der Konfliktbereich bezogen auf den Empfangsbereich ist, desto wahrscheinlicher ist die Möglichkeit, dass ein weiterer Teilnehmer im Konfliktbereich ein Datenpaket im gleichen Zeitschlitz absendet. Kommt es zu einem gleichzeitigen Zugriff auf den Datenkanal innerhalb des Konfliktbereichs, kann das gesendete Datenpaket vom Empfänger nicht decodiert werden (CCI nicht eingehalten).

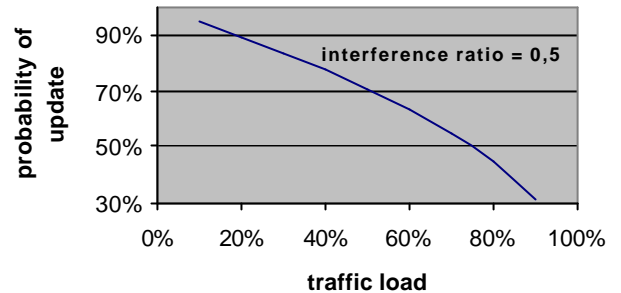
Bedingt durch die Existenz eines Konfliktbereichs reduziert sich somit die Übertragungswahrscheinlichkeit für ein auf den Datenkanal gesendetes Datenpaket. Die Übertragungswahrscheinlichkeit ist abhängig von der Kanalbelastung des Übertragungskanals und der Größe des Konfliktbereichs. Die Übertragungswahrscheinlichkeit lässt sich durch folgenden Ausdruck berechnen:

$$P_{no\_collision} = (1 - p_{traffic})^{\frac{A_{conflict}}{A_{applicatin}}}$$

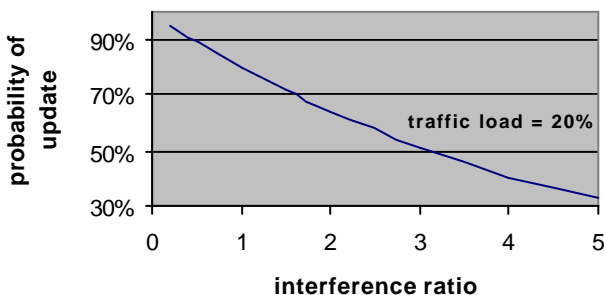
wobei  $p_{no\_collision}$  = Übertragungswahrscheinlichkeit

$p_{traffic}$  = Wahrscheinlichkeit, dass ein anderer Teilnehmer im Konfliktbereich im gleichen Zeitschlitz sendet (Verkehrsbelastung auf dem Datenkanal)

$\frac{A_{conflict}}{A_{applicatin}}$  = Größenverhältnis zwischen Konfliktbereich und Anwendungsbereich (interference ratio)



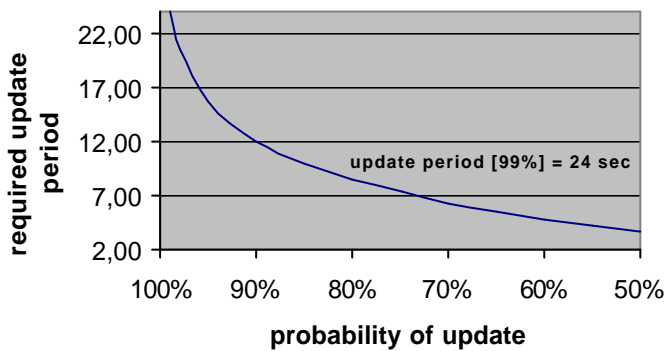
ADS-B System Anforderungen sind definiert im RTCA Dokument DO-242 „Minimum Aviation System Performance Standards For Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B)“. Das Dokument definiert verschiedene Parameter abhängig von einzelnen Applikationen. Die geforderte Update-Periode wird durch den Parameter „State Vector Report Update Period“ definiert und ist mit einer Empfangswahrscheinlichkeit von 99% angegeben. Entscheidend ist also nicht die Update-Periode, mit der ADS-B Meldungen beim Sender abgesandt werden, sondern die Update-Periode, mit der die Meldungen beim Empfänger decodiert werden können. Sinkt die Übertragungswahrscheinlichkeit des Übertragungsmediums, muss die Update-Periode am Sender zur Kompensation erhöht werden.



Die Erhöhung der Update-Periode lässt sich wie folgt berechnen:

$$(1 - P)^{\frac{TC}{T}} \leq 0.01$$

- wobei P = Übertragungswahrscheinlichkeit  
 TC = geforderte Update-Periode mit einer Wahrscheinlichkeit von 99%  
 T = Update-Periode bei der gegebenen Übertragungswahrscheinlichkeit P



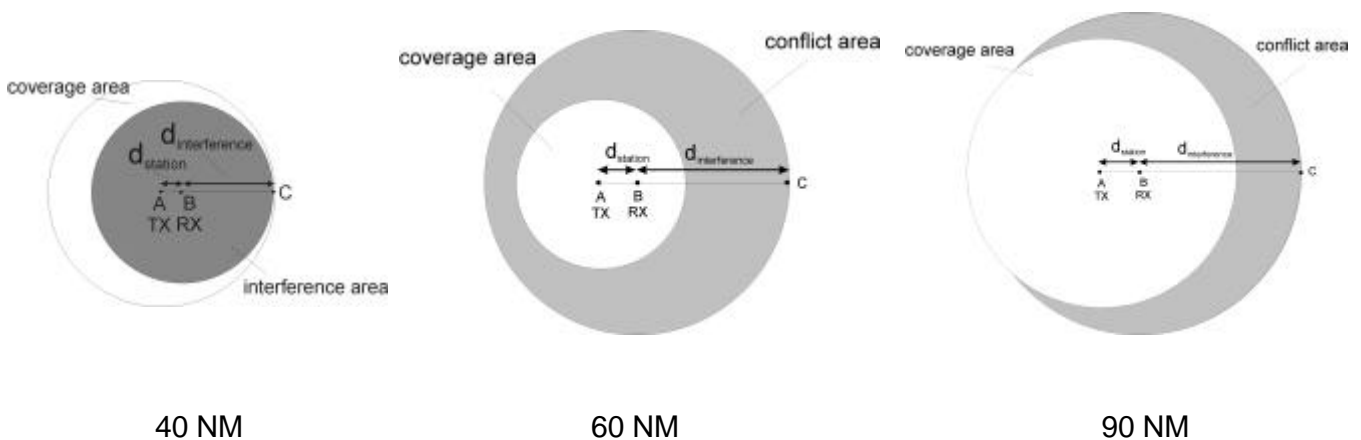
### ADS-B Anwendungen

In den RTCA MASPS werden 6 Anwendungen mit einem Anwendungsbereich von 5 NM (Airport Surface) bis 90 NM (Flight Path Deconfliction Planning) betrachtet. Die Ausdehnung des Anwendungsbereichs ist von entscheidender Bedeutung für die Kapazitätsberechnung, da, wie beschrieben, der Störungsbereich durch den 4 fachen Radius des Anwendungsbereichs bestimmt wird. Die folgenden Abbildungen zeigen die Vergrößerung des Konfliktbereichs mit größer werdendem Anwendungsbereich.

Durch den mit größer werdendem Anwendungsbereich sich vergrößernden Konfliktbereich verringert sich die Übertragungswahrscheinlichkeit des Datenübertragungskanal. Durch die geringer werdende Übertragungswahrscheinlichkeit muss die Update Rate beim Sender erhöht werden um sicherzustellen, dass die geforderte Update Rate beim Empfänger erfüllt wird. Durch die Erhöhung der ADS-B Meldungsrate erhöht sich die Kanalbelastung, wodurch sich die Übertragungswahrscheinlichkeit weiter verringert.

Die bisherige Diskussion zeigt eine direkte Abhängigkeit zwischen den Parametern

- Kanalbelastung des Übertragungskanal
- Übertragungswahrscheinlichkeit
- Geforderte Update Rate



Fünf der sechs in den ADS-B MASPS beschriebenen Anwendungen setzen einen maximalen Anwendungsbereich von 40 NM voraus. Wie in den Grafiken oben gezeigt, existiert für diese Anwendungen kein Konfliktbereich. Somit steht den Applikationen die theoretisch maximale Kapazität des Übertragungskanals zur Verfügung. Bei zwei vorausgesetzten VDL Mode 4 Frequenzen lassen sich pro Minute 9000 Positionsmel-

dungen übertragen (Empfangswahrscheinlichkeit 99%).

Bei der „Flight Path Deconfliction Planning“ Anwendung, die einen Anwendungsbereich von 90 NM fordert, existiert ein sehr großer Konfliktbereich, der die Kapazität dramatisch reduziert. Unter Nutzung von zwei VDL Mode 4 Kanälen lässt sich die Anwendung mit bis zu 150 Teilnehmern innerhalb von 90 NM durchführen.

		Aid to Visual Acquisition	Conflict Avoidance and Collision Avoidance	Separation Assurance and Sequencing	Flight Path Deconfliction Planning	Simultaneous Approach	Airport Surface
MASPS requirements	State Report Period (99% probability)	6 sec	6 sec	14 sec	24 sec	3 sec	3 sec
	Vector Update Period (99% probability)						
	Application Range (Required Acquisition Range)	10 NM	20 NM	40 NM	90 NM	10 NM	5 NM
Capacity calculation	Number of aircraft within the application range (using 2 VDL channels)	900	900	2100	150	450	450



Lufthansa Boeing 747-200, für Flugversuche ausgerüstet mit einem STDMA Transceiver

# Prototyping für ein P1 Simulationssystem

## Technologietransfer zum Mitmachen

Dr. Thomas Bierwagen, TEH

Dr. Ralph Leemüller, TEI

Wolfgang Jekl, VIH

### Einführung

Das Flugsicherungssystem P1<sup>1</sup>, das basierend auf dem Produkt Autotrac der Firma Raytheon Inc. entwickelt wurde, bildet die technische Grundlage der Kontrolltätigkeit des Geschäftsbereiches Center (CC) der DFS. Es wurde bisher für die Kontrollzentrale Frankfurt in Langen erfolgreich eingeführt. Seit der Verlagerung nach Langen in den Jahren 2000 und 2001 arbeiten auch die Anflugkontrollstellen Nürnberg und Stuttgart mit diesem System. Für die Kontrollzentralen Düsseldorf in Langen und München ist die technische Einrüstung bereits erfolgt. Eine Inbetriebnahme steht jeweils in naher Zukunft vor der Tür. Um den Übergang auf diese neuen Systeme so effizient wie möglich zu gestalten, finden derzeit die Planungen der für die Inbetriebnahme erforderlichen Schulungsmaßnahmen statt.

Vor diesem Hintergrund hat das BSK-Projekt Mitte/West (Verlagerung der Kontrollzentrale Düsseldorf nach Langen) bereits im Jahr 2000 die Erfahrungen aus der betrieblichen Schulung der Kontrollzentrale Frankfurt (die Inbetriebnahme erfolgte 1999) ausgewertet. Als ein wesentli-



Abbildung 1: Blick in eine Kontrollzentrale mit P1 System

ches Problem ergab sich, dass bei Nutzung von Live-Verkehr für die Schulung eine „echte“ Interaktion mit dem System unmöglich war – da dann auch „echte“ Meldungen erzeugt und an die Partner versandt worden wären. Gerade das interaktive Lernen am und mit dem System in den fortgeschrittenen Phasen der Schulung stellt aber einen wichtigen Qualitätsbaustein für einen möglichst reibungslosen Übergang in die neue Systemumwelt dar.

### Prototyp eines P1 Simulationssystems

Die Konsequenz aus dieser Analyse war die Frage nach einem Simulationssystem, das im Rahmen der betrieblichen Schulungsmaßnahmen (also der praxisbezogenen Systemeinweisung in das P1 System) für das Betriebspersonal Düsseldorf zum Einsatz kommen könnte. Mit einer solchen Maßnahme könnte zum einen die Ausbildungsqualität und die Systemvertrautheit (Abbau von Berührungängsten) gesteigert und zum anderen der Forderung des Betriebsrates Düsseldorf nach einem Simulationssystem nachgekommen werden.

Dazu wurde in den Monaten Juni bis August 2001 von den Bereichen Issue Management P1/ATCAS (VI) und Forschung & Entwicklung (TE) ein Prototyping durchgeführt. Grundidee hierbei: die ideale Schulungsumgebung ist die Umgebung, die auch später operationell genutzt wird – also der neue Kontrollraum Düsseldorf in Langen. Dieser Raum mit dem sogenannten „OpSys Düsseldorf“ ist der für alle praktischen Teile der Schulungsmaßnahmen vorgesehene Schulungsraum, – und das OpSys Düsseldorf ist das vorgesehene Schulungssystem. Wenn es also gelingt, in dieses Umfeld ein geeignetes Simulationssystem zu integrieren, das das P1

<sup>1</sup> P1 steht hier als Synonym für das P1/ATCAS System

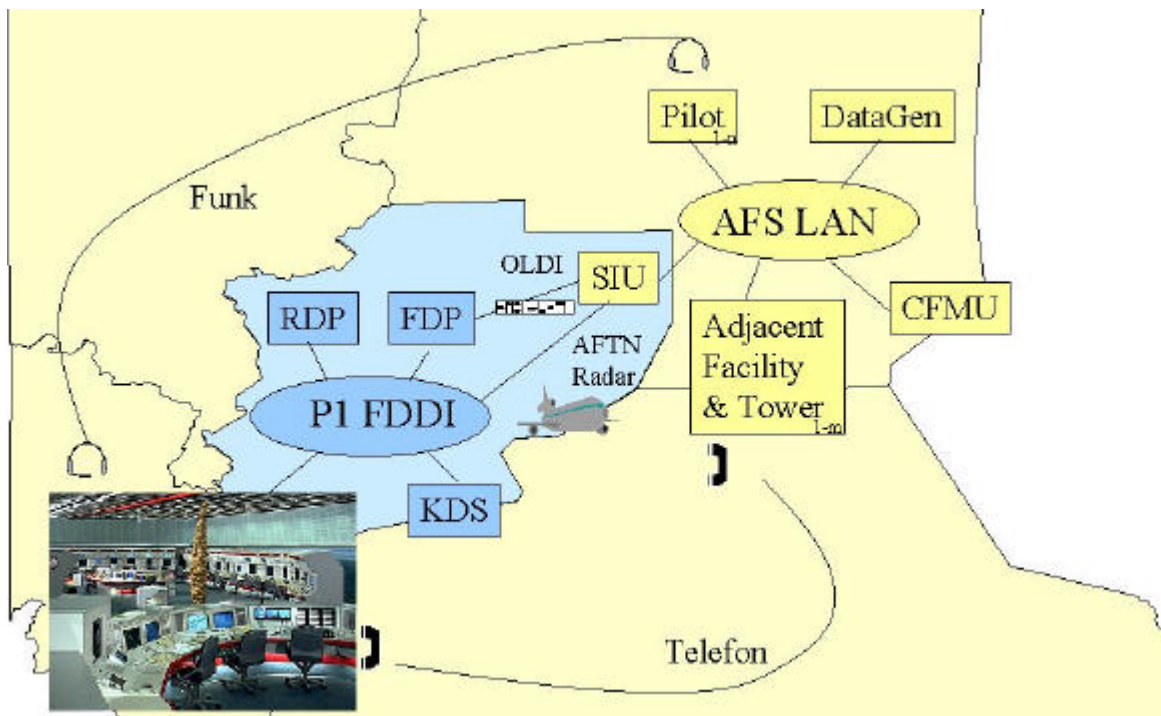


Abbildung 2: Struktur des technischen Aufbaus

System stimuliert und damit volle Interaktivität und Dynamik bei der Schulung zulässt, dann wäre das genau die geforderte Erweiterung der Schulungsumgebung im Sinne einer optimierten und effizienten Schulung.

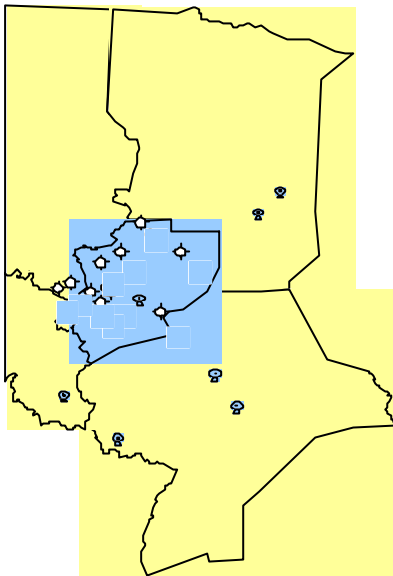
### Technische Realisierung

Die technische Realisierung einer solchen Idee wurde nun mit dem Prototypen durchgeführt und ausgiebig getestet. Dabei konnte der Advanced Function Simulator (AFS) des Bereiches Forschung & Entwicklung erfolgreich als Stimulator eingesetzt werden. Diese technische Lösung brilliert vor allem durch ihre Einfachheit: Der AFS stellt die Simulationsdaten in einer Form zur Verfügung, wie sie auch als Live-Daten vom P1 System an den Schnittstellen zur realen Welt erwartet werden. Damit sind keine Anpassungen am pre-operationellen P1 System erforderlich. Konkret bedeutet das: über zwei physikalische Datenleitungen – eine FDDI Leitung und eine X.21 Leitung, die beide bereits existieren und vom Test Daten Generator (TDG) genutzt werden, um Daten in das P1 System einzuspeisen – werden die simulierten Daten des AFS in das P1 System geleitet. Auf diesen beiden Leitungen werden drei Arten von Daten ausgetauscht:

- Radardaten über FDDI im Eurocontrol ASTERIX Format liefern die Radarmeldungen an das Radardatenverarbeitungssystem (RDPS) von P1, das diese Meldungen verarbeitet und an allen Arbeitsplätzen zur Anzeige bringt
- Flugplandaten einer simulierten zentralen Verkehrsflusssteuerung in Brüssel (CFMU) über FDDI im AFTN Format liefern die Grundlage für das Flugplandatenverarbeitungssystem (FDPS) von P1
- Aktivierungsmeldungen (ABI, ACT) über X.25 im Eurocontrol OLDI Format liefern schließlich die Aktivierung und ermöglichen die Korrelation, die im P1 System hergestellt wird. Dadurch können vollständig korrelierte Flugziele (Radarziele) an den Arbeitsplätzen zur Anzeige gebracht werden.

Darüber hinaus existiert eine simulierte Sprechfunkverbindung zwischen den Pilotenpositionen des AFS und den Lotsenarbeitsplätzen (Radarlotse) des P1 Systems. Der technische Aufbau des Simulationssystems ist in Abbildung 2 dargestellt.

Für die Lufträume, die vom AFS simuliert werden, gibt es eine wichtige Unterscheidung: Wäh-



#### ■ Flugplandaten:

- AFS simuliert alle Partner
- P1 verarbeitet Düsseldorf FIR

Abbildung 3: Simulierte Lufträume im AFS

rend für die simulierten Radarziele, die durch die Simulationspiloten gesteuert werden, der Luftraum der Düsseldorf FIR und aller angrenzenden Kontrollzentralen simuliert wird, werden für die bodenseitige Flugplanverarbeitung nur die benachbarten Kontrollzentralen und Kontrolltürme simuliert (siehe Abbildung 3). Dabei handelt es sich insgesamt um 6 Kontrollzentralen (Bremen, Frankfurt, Brüssel, Amsterdam, Maastricht, Rhein) und eine Anzahl von Kontrolltürmen als Koordinationspartner.

Mit diesem Aufbau lässt sich die gesamte Kontrollzentrale mit simulierten Daten (z.B. zu Schulungszwecken) betreiben. Das Simulationssystem erlaubt dabei bis zu 400 gleichzeitig aktive Ziele in einem Szenario, das maximal 1500 simulierte Flüge innerhalb eines Zeitraumes von 2 Stunden enthält. Die Anzahl der bodenseitigen Kommunikationspartner (z.B. andere Kontrollzentralen) ist derzeit auf 20 beschränkt. Simuliert werden beliebig viele Radaranlagen und Flugplätze innerhalb und außerhalb der relevanten Kontrollzentrale.

### Technische Herausforderungen

Bei der Realisierung des Prototypen im Kontrollraum Düsseldorf in Langen gab es natürlich eine Vielzahl von technischen Details, die gelöst werden mussten. Neben dem Aufbau der physikalischen Verbindungen waren es vor allem zwei Punkte, die sich im Laufe der Arbeiten als zentral herausstellten: die Adaptionen des P1 Systems und die P1 Spezifika bei der Flugplandatenverarbeitung.

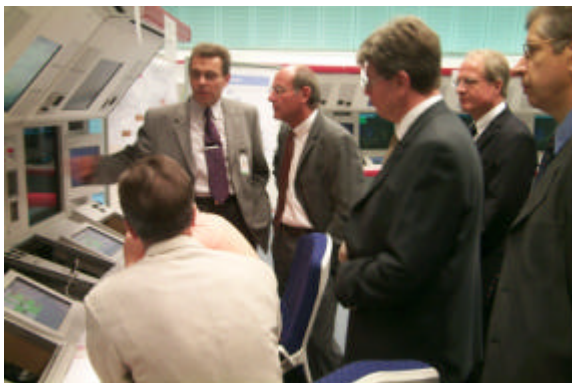
Im P1 System werden über die sogenannten Adaptionen alle wichtigen Parameter definiert, die für die richtige Verarbeitung der eingehenden Daten erforderlich sind. Das sind neben den Koordinaten der bekannten Wegpunkte z.B. auch die Sektorisierung, die Übergabebedingungen (automatischer Austausch von Überflugzeit, Flughöhe, SSR-Code) an den Koordinationspunkten mit den benachbarten Kontrollzentralen, die Zeiten und Bedingungen für das Löschen von Flugplänen oder die Parameter für die Verbindungen auf den unteren Netzwerkebenen. Stimmen diese Parameter mit den Daten, die im AFS vorhanden sind bzw. erzeugt werden, nicht überein, so werden insbesondere die Flugplandaten nicht korrekt verarbeitet. Als Folge ergibt sich meist ein unkorreliertes Radarziel auf dem Bildschirm. Hier eine entsprechende Übereinstimmung der Daten zu erreichen hat – nicht zuletzt auf Grund der Komplexität der P1 Adaptionen – einen erheblichen zeitlichen Aufwand erfordert.

Neben der Anpassung des AFS an die Adaptionen mussten auch Anpassungen an einige Spezifika von P1 vorgenommen werden. Denn wenn die Daten wie im AFS gemäß den gültigen internationalen Standards erzeugt und versandt werden, kann ein P1 System diese Daten zwar annehmen, aber nicht in jedem Fall automatisch verarbeiten. In diesen Fällen muss ein Flugdatenbearbeiter manuelle Anpassungen vornehmen, um eine vollständige Verarbeitung zu erreichen. Um nun zu demonstrieren, dass prinzipiell eine vollständige Verarbeitung ohne manuellen Eingriff erfolgen kann, wurden die simulierten Daten im Rahmen der internationalen Standards entsprechend modifiziert. Prominentestes Beispiel für diesen Vorgang ist das Einfügen des Bezeichners „DCT“ in den Flugplan, um dem P1 System deutlich zu machen, dass zwischen zwei Wegpunkten keine Luftstraße definiert ist.

## Betriebliche Nutzung

Unter betrieblichen Aspekten wurde der Prototyp aus dem Bereich VI betreut. Demonstriert wurden in einem Simulationsszenario etwa 40 verschiedene typische Flugprofile für die Kontrollzentrale Düsseldorf. Dabei handelte es sich um Überflüge genauso wie Starts oder Landungen in der FIR. Enthalten waren außerdem Militärverkehr und Flugregelwechsel (IFR → VFR, VFR → IFR). Nicht demonstriert wurden spezielle militärische Verfahren wie Formationsflüge oder Tankerflüge. Diese sind aber prinzipiell mit dem AFS darstellbar. Der gesamte Verkehr wurde vom P1 System sowohl im RDPS als auch im FDPS richtig verarbeitet. Die Anzeigen in den verschiedenen Fenstern der P1 Arbeitsplätze – neben dem Radarbild vor allem die verschiedenen Listendarstellungen wie Flight List, FMM oder ERM – wurden jeweils für die entsprechenden Sektoren erzeugt und weitergegeben. Auch die aus dem P1 System herausgehende ACT-ABI-Kommunikation fand statt. Selbstverständlich quittierte der AFS die eingehenden Meldungen ordnungsgemäß mit einer Logical Acknowledgement Message (LAM).

Nach einer Prototyping Phase von etwa 8 Wochen wurde das System als für die Schulung geeignet akzeptiert. Es schloss sich eine etwa 4-wöchige Vorbereitungsphase für die abschlie-



**Abbildung 4: Präsentation des Prototyps**

ßende Präsentation der Ergebnisse an. Im Anschluss der Präsentation (siehe Abb. 4) wurde das weitere Vorgehen beschlossen. Der Einsatz des Simulators für die Schulung des Düsseldorfer Betriebspersonals wird zur Zeit vorbereitet und nach der Genehmigung des Projektantrages 3 durch die Geschäftsleitung realisiert.

## Weitere Verwendung

Neben der Nutzung eines solchen Systems für den geschilderten Zweck der praxisbezogenen Systemeinweisung P1 für Düsseldorf (siehe Einführung) liegen weitere Anwendungen auf der Hand: z.B. kann ein identisches System für die noch anstehenden P1 Einrüstungen der Kontrollzentralen München, Bremen und Berlin genutzt werden. Prinzipiell kann genauso auch eine Transition der Kontrollzentrale Karlsruhe auf ein VAFORIT System mit einem solchen Simulationssystem unterstützt werden – denn der AFS unterstützt schon heute alle externen Schnittstellen des zukünftigen VAFORIT Systems.

Auch für die ab-initio Ausbildung zeichnet sich eine sinnvolle Anwendung ab. Für das Training auf ein P1 System am Beginn des On-the-Job Trainings (OJT) scheint ein solches P1 Simulationssystem ideal zu sein: in einem sogenannten Pre-OJT ließen sich die Systembedienung sowie die Einweisung in örtliche Verfahren an simuliertem Verkehr mit sich steigernden Anforderungen erlernen. Damit lässt sich die Verkehrsbelastung für den neuen Mitarbeiter zielgerichtet steuern, die Ausbilder werden damit ebenfalls entlastet und letztlich kann dadurch der Zeitaufwand zum Erreichen der Berechtigung optimiert werden.

In der Prototyping Phase konnte außerdem nachgewiesen werden, dass ein derartiges System auch aus technischer Sicht hoch interessant ist. So konnten mehrfach Inkonsistenzen in den Adaptiondaten des P1 Systems nachgewiesen werden. Auch das Zusammenspiel verschiedener Arbeitsplätze innerhalb des P1 Systems konnte interaktiv überprüft werden. Somit wurde am Beispiel des P1 Systems exemplarisch gezeigt, dass die Entscheidung für den Einsatz eines AFS als Testbett für das VAFORIT System in Karlsruhe grundsätzlich richtig war und sich hier bereits bewährt hat.



**Impressum:**

**Herausgeber:** Bereich Forschung und Entwicklung, TE  
DFS Deutsche Flugsicherung GmbH

**Redaktion:** Dr. Thomas Bierwagen,  
Dr. Andreas Herber,  
Dr. Jens Konopka,  
Oliver Reitenbach