



Verbundvorhaben SysTAvio - Bewertung neuartiger Anzeigekonzepte

Schlussbericht des DLR e.V.,
Institut für Flugführung

**Förderkennzeichen
20Y1101F**

IB-Nummer DLR-IB-FL-BS-2016-261
Zugänglichkeitsstufe A/I



Institut für Flugführung
Direktor: Prof. Dr. Dirk Kügler

Dokument Information

Zuständiger Projekt- / Abteilungsleiter:	L. Ebrecht, DLR e.V. (PL) / Dr. B. Korn (AL)
Zuständiger Autor:	L. Ebrecht
Weitere Autor(en):	R. Küppers, H. Lenz, Dr. S. Schmerwitz, Dr. H. Többen
Projekt / Zielfeld:	Verbundvorhaben Bewertung neuartiger Anzeigekonzepte
Zugänglichkeitsstufe:	A/I (unbegrenzt zugänglich)
Datei:	DLR-IB-FL-BS-2016-261 SysTAvio Schlussbericht DLR v1.0.doc
Version:	1.0
Speicherdatum:	2016-11-22
Gesamtseitenzahl:	30

Freigabe:

Die Freigabe erfolgt lt. gesondertem Freigabebeformblatt:

© 2016, DLR, Institut für Flugführung:

Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung innerhalb und außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des DLR, Institut für Flugführung, unzulässig und wird zivil- und strafrechtlich verfolgt. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Änderungsverfolgung

Version	Datum	Geänderte Seiten / Kapitel	Bemerkungen
0.01	04.10.2016	Alles	Erster Entwurf
0.02	15.11.2016	Alles	Review
1.0	22.11.2016	Alles	Finale Version

Inhalt

1	Ziel und Zweck des Dokumentes.....	6
2	Kontext des Verbundvorhabens.....	7
2.1	Aufgabenstellung	7
2.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	9
2.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	9
2.4	Wissenschaftliche und technische Ausgangslage.....	9
2.5	Zusammenarbeit.....	11
3	Erzielte Ergebnisse.....	12
3.1	AP 1 Anforderungen Cockpit Displays und Controls.....	12
3.2	AP 2 Control und Display System	12
3.3	AP 3 Graphik- und Interaktions-Technologien	12
3.4	AP 4 Demonstration und Evaluation Flugführung.....	13
3.5	Wesentliche Ergebnisse der DLR Aktivitäten	14
3.5.1	Implementierung der Standard-Anzeigeformate des Airbus A350 auf Basis von ARINC 661 sowie die Integration der Anzeigen in die Simulationsinfrastruktur des DLR	14
3.5.2	Realisierung synthetischer Ansichten in Verbindung mit ARINC 661	18
3.5.3	Entwicklung eines neuen Anzeige- und Bedienkonzeptes	20
3.5.4	Evaluation des Anzeige- und Bedienkonzeptes sowie des Gesamtsystems.....	24
3.6	Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	27
3.6.1	Durchführung neuer, komplexer Anflugverfahren unter Nutzung neuartiger Anzeigen	27
3.6.2	Konzepte zum Umfliegen gefährlicher Wetterphänomene unter Nutzung neuartiger Anzeigen.....	27
3.6.3	Konvertierung der Software Applikationen auf industriekompatible Entwicklungsplattform.....	28
3.6.4	Anzeige und Interaktionssystem zur Reduzierung der Arbeitsbelastung in arbeitsintensiven Flugphasen	28
3.6.5	Validierung des Gesamtsystems	28
3.7	Vorträge und Veröffentlichungen	28
4	Referenzen.....	30

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: SysTAvio-Grafik Inhalte im Überblick	8
Abbildung 2: Primary Flight Display, Slats / Flaps, Navigation Display und Vertical Cut Display im Layout des Airbus A350	14
Abbildung 3: Engine and Warnings Display und Multifunktionsdisplay	15
Abbildung 4: SCADE Display UA Page Creator für ARINC 661 von ESTEREL Technologies	15
Abbildung 5: SCADE Suite und Display für ARINC 661 von ESTEREL Technologies.....	16
Abbildung 6: SCADE Suite und Display für ARINC 661 von ESTEREL Technologies.....	16
Abbildung 7: Framework zur Integration der ARINC 661-Architektur in die Simulationsumgebungen des DLR sowie DA	17
Abbildung 8: Im generischen Experimental-Cockpit integrierte Standard- Avionikanzeigen	18
Abbildung 9: Aktuelle und zukunftsweisende Cockpit Display Systeme (links Honeywell EASy II [14] rechts THALES ODICIS Glass Cockpit [15])	18
Abbildung 10: Konzept zur Integration von externen Bilddaten in den ARINC 661- Kontext	19
Abbildung 11: ARINC 661-Avionikanzeigen ohne und mit synthetischen Darstellungen	20
Abbildung 12: Orthogonale koplanare (links) und perspektivische (rechts) exozentrische Ansichten mit synthetischer Gelände- und Wetterdarstellung im Navigationsdisplay	21
Abbildung 13: Anzeige-Modi im SV-ND: 2D ROSE, 2D ARC, 2.5D-Center, -Left und - Right	22
Abbildung 14: Bedienelemente für die orthogonalen und perspektivischen Modi des SV-ND	22
Abbildung 15: Finale Version des SV-ND mit orthogonalen und perspektivischen Anzeigemodi unter Verwendung des RGVC von Diehl Aerospace und der Software zur Generierung synthetischer Darstellungen auf dem RGVC der Universität Rostock (links: 2D ROSE-Mode und rechts: 2.5D ARC-Mode).....	23
Abbildung 16: Für die Simulatorstudie in das GECO integrierte Zielhardware Remote Graphics and Video Controller von Diehl Aerospace	24
Abbildung 17: GECO mit den auf ARINC 661 implementierten und zu einem SVS erweiterten Avionik-Anzeigen.....	24
Abbildung 18: Gewittersituation der Evaluationsszenarien im Überblick	26
Abbildung 19: Gewittersituation der Trainingsszenarien im Überblick.....	26

1 Ziel und Zweck des Dokumentes

Dieses Dokument enthält den Schlussbericht der Arbeiten des Instituts für Flugführung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) zum Teilvorhaben „Bewertung neuartiger Anzeigekonzepte“. Das Teilvorhaben gehört zu dem Verbundvorhaben „Systeme und Avionik-Technologien der nächsten Generation“ (SysTAvio). Das Verbundvorhaben wurde im Rahmen des vierten Luftfahrtforschungsprogramms der Bundesrepublik Deutschland durchgeführt. Es wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie durch den Projektträger Luftfahrt des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. gefördert. Das Konsortium bestand aus den Firmen Liebherr-Aerospace Lindenberg GmbH, Diehl Aerospace GmbH, Airbus Operations GmbH, Liebherr Elektronik GmbH sowie den Instituten für Luftfahrtsysteme der Universität Stuttgart sowie dem Institut für Flugführung des DLR Braunschweig. Geleitet wurde der Verbund von Liebherr-Aerospace.

Zuwendungsempfänger: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

Förderkennzeichen: 20Y1101F

Vorhabensbezeichnung: Systeme und Avionik-Technologien der nächsten Generation (SysTAvio)

Laufzeit des Vorhabens: 01. November 2012 – 30. Juni 2016

2 Kontext des Verbundvorhabens

2.1 Aufgabenstellung

Ein Schwerpunkt des Verbundprojektes SysTAvio bildete die integrierte modulare Avionik (IMA). IMA steht für eine Hard- und Software-Architektur in der standardisierte Komponenten und Schnittstellen verwendet werden. Dies ermöglicht die Mehrfachnutzung von Avionik-Komponenten in verschiedenen Luftfahrzeugsystemen. Der überwiegende Teil neu entwickelter Flugzeuge basiert auf dem IMA-Konzept. Diehl Aerospace entwickelte in SysTAvio unter anderem eine neue leistungsfähigere Grafik-generierungshardware, den Remote Graphics and Video Controller (RGVC). Diese Hardware stellt eine IMA-Komponente dar. In Bezug zu dem IMA-Konzept sowie insbesondere zu neuen Cockpit Display Systemen spielt der Luftfahrtstandard ARINC 661 „Cockpit Display System Interfaces to User Systems“ eine wichtige Rolle. Heutige Cockpits, wie beispielsweise im Airbus A350, A380 oder auch in der Boeing B787, basieren bereits auf diesem Standard. Der Standard definiert Inhalte und Elemente von Avionikanzeigen sowie die Kommunikation zwischen den Anzeigen und den Applikationen, die die Inhalte steuern. Damit sind Avionik-Anwendungen von der Avionik-Hardware entkoppelt [1].

Die Beiträge des DLR zum Gesamtziel des Vorhabens verteilten sich auf vier Themengebiete. Das erste Ziel lag in der Unterstützung des Verbundpartners Diehl Aerospace (DA) bei der Entwicklung und Vorbereitung der Einführung einer verteilten Avionik-Systemarchitektur im Cockpitbereich. Diehl Aerospace hat diesbezüglich eine dedizierte Remote Control Einheit (Remote Graphic and Video Controller – RGVC) für die Cockpit-I/O-Signale entwickelt. Diese Einheit besitzt eine leistungsfähigere Graphik- und Video-funktionalität, um die Hauptdisplays im Cockpit anzusteuern. Zudem war das Ziel mit Hilfe der Einheit Eingaben über im Cockpit integrierte Eingabeeinheiten zu ermöglichen. Das DLR hat hierbei im Unterauftrag bei der Spezifikation und dem Systemdesign mit Kenntnissen über die A320 Cockpitarchitektur unterstützt.

Das zweite Ziel bezog sich auf die Anwendung neuer präziser und gekrümmter Anflugverfahren sowie Anflüge mit kontinuierlichem Sinkflug. Diese Verfahren ermöglichen die Verlagerung und Reduktion von Fluglärm sowie die Reduktion des Energieverbrauchs und damit von Emissionen. Hierdurch soll die Akzeptanz insbesondere der drei deutschen Großflughäfen verbessert werden.

Das dritte Ziel bildete die Entwicklung neuer Anzeigeformate zur Durchführung komplexer Anflugverfahren sowie die Betrachtung gefährlicher Wetterphänomene. Das Wetter stellt für die Luftfahrt ein latentes Gefahrenpotential dar. Dementsprechend sollten die Hauptanzeigen um geeignete Darstellungen von Wetter (insbesondere Gewittern) ergänzt werden. Hiermit sollen Piloten auf einfache, intuitive Art und Weise in der Lage sein gefährliche Wettergebiete zu umfliegen. Der Fokus lag hierbei, auf der Vermittlung aller relevanter Informationen, um die Erfassung und Bewertung der Situation, das sogenannte Situationsbewusstsein des Piloten bestmöglich zu fördern, und zudem den Piloten durch die Vielzahl der dargestellten Informationen sowie die Komplexität der Anzeige nicht zusätzlich zu belasten bzw. zu überfordern. Die neuen Anzeigeformate sollten des Weiteren in Verbindung mit der industriellen Grafik-generierungshardware auf Basis des Luftfahrtstandard ARINC 661 realisiert werden.

Durch entsprechende Echtzeitsimulationen sollte sichergestellt werden, dass die Einführung der neuen Anzeige- und Bedienkonzepte die Piloten zielführend und verständlich sind. Die Evaluation des neuen Anzeigekonzeptes sowie des Gesamtsystems bildete damit das vierte Ziel.

Insgesamt sollte durch die Untersuchung der operationellen Eignung der Anzeigen in Verbindung mit der industriellen Hardware die Leistungsfähigkeit der Hardware demonstriert werden, um damit die wirtschaftlichen Vorteile und Marktchancen der dt. Industrie zu verbessern.

Die DLR Arbeiten konzentrierten sich dementsprechend auf folgende Aktivitäten:

- Implementierung der Standard-Anzeigeformate Airbus A350 auf Basis von ARINC 661
- ARINC 661 Integration in die Simulationsinfrastruktur des DLR
- Kopplung der Anzeigeformate mit dem Advanced Flight Management System (AFMS) des DLR sowie der Flugsimulationssoftware X-Plane
- Integration des AFMS im Cockpit Demonstration Center bei Diehl Aerospace
- Entwicklung eines Konzeptes zur Integration externer Bilddaten in den ARINC 661-Kontext zur Realisierung synthetischer Anzeigen
- Entwicklung eines neuen Anzeigekonzeptes mit perspektivischen Anzeigemodi im Navigationsdisplay mit synthetischen Anzeigen
- Integration der industriellen Hardware-Komponente im DLR Simulator
- Vorbereitung, Durchführung und Auswertung einer Simulatorstudie zur Evaluation des Anzeigekonzeptes und des Gesamtsystems

Abbildung 1 veranschaulicht die genannten Inhalte des Teilvorhabens SysTAvio-Grafik.

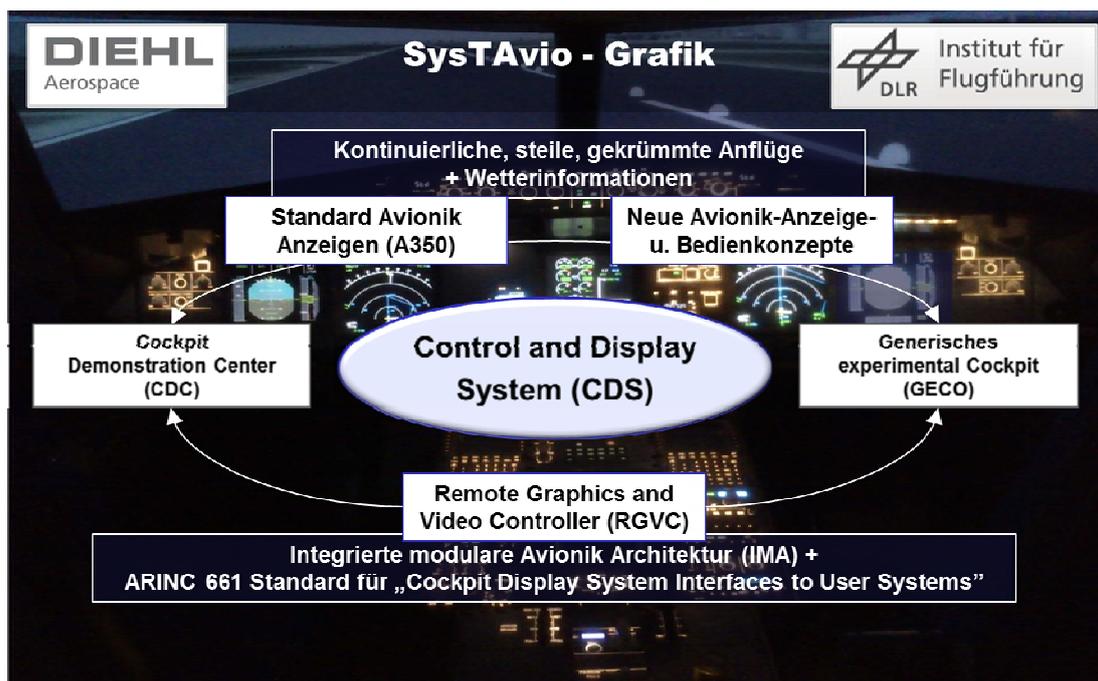


Abbildung 1: SysTAvio-Grafik Inhalte im Überblick

2.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das DLR betreibt bereits seit vielen Jahren Forschung im Bereich neuer Flugführungskonzepte. Die Validierungsstrategie folgt einer mehrstufigen und iterativen Herangehensweise. Dies erfolgt durch Anpassung der Testplattformen, d.h., die Modellierung der innovativen Flugverfahren in der Echtzeitsimulation sowie die Anpassung der Flugführungssysteme. Im Verbundvorhaben SysTAvio lag die Kernkompetenz des DLR in der Entwicklung und Realisierung neuer Anzeigekonzepte, der Anwendung neuer Anflugverfahren sowie der operationellen Validierung und Evaluation.

Durch den Fokus auf die integrierte modulare Avionik-Architektur sowie ARINC 661 beschränkten sich die Kenntnisse und Erfahrungen des DLR auf Flugführungsverfahren und -anzeigen. Die Realisierung der Standard-Avionikanzeigen auf Basis von ARINC 661 erfolgte von Grund auf neu. Hierbei wurde in SysTAvio die integrierte grafische Entwicklungsumgebung SCADÉ von ESTEREL Technologies erstmalig vom DLR eingesetzt [2].

Bezüglich der neuen Anflugverfahren flossen das Knowhow und die Ergebnisse verschiedener Projekte sowie Arbeiten im Rahmen der Entwicklung des Advanced Flight Management System (AFMS) des DLR ein [3][4][5].

Aufgrund der Zielsetzung das AFMS in das Cockpit Demonstration Center bei Diehl Aerospace zu integrieren, wurde in SysTAvio X-Plane und das A320-Modell der Firma QPAC anstelle des DLR-eigenen A320-Flugsimulationsmodells verwendet [6].

2.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Der Gesamtverbund wurde von der Liebherr Aerospace Lindenberg GmbH geleitet. Das Vorhaben des Gesamtverbundes startete bereits vor dem Teilvorhaben „Bewertung neuartiger Anzeigeformate“. Die Arbeitspaketleitung des Teilvorhabens übernahm die Diehl Aerospace GmbH. Das DLR war innerhalb des Vorhabens maßgeblich an der Entwicklung der Avionikanzeigen sowie im Bereich der Validierung und Evaluation tätig. Zunächst wurden die Standard-Avionikanzeigen im Airbus A350-Format basierend auf ARINC 661 implementiert. Darauf aufbauend wurde ein Konzept zur Integration externen Bilddaten in den ARINC 661-Kontext entwickelt und umgesetzt. Hiermit wurden synthetische Darstellungen im Primary Flight Display und im Navigationsdisplay realisiert sowie ein neues Anzeigekonzept mit perspektivischen Anzeigemodi im Navigationsdisplay erarbeitet. Die entwickelten Anzeigeformate wurden in die Simulationsumgebung des DLR integriert und zusammen mit dem AFMS und dem A320-Modell der Firma QPAC in Verbindung mit X-Plane zur Anwendung gebracht. Es wurden Test-Setups sowie Testszenarien für die Validierung und Evaluation erarbeitet und realisiert. Parallel wurde die von Diehl Aerospace entwickelte Grafikgenerierungshardware in die Simulationsumgebung des DLR integriert. Abschließend wurde das neue Anzeige- und Bedienkonzept sowie das Gesamtsystem bestehend aus der Avionik-Applikation und der Hardware im Rahmen einer Simulatorstudie mit Piloten evaluiert.

2.4 Wissenschaftliche und technische Ausgangslage

Die wissenschaftliche und technische Ausgangslage umfasst die folgenden Punkte, die anschließend erläutert werden:

- Neue Anflugverfahren
- Ergebnisse des Projektes Wetter und Fliegen
- Synthetic Vision Systeme

In SysTAvio wurden neue Anzeigeformate zur Durchführung neuer Anflugverfahren und zum Umfliegen von Gewittern erarbeitet und untersucht. Grundlage für die Evaluations-szenarien bildeten Präzisionsanflüge - Required Navigation Performance Authorisation Required (RNP AR) bzw. Performance based Navigation (PBN) [7][8]. RNP AR Anflugverfahren wurden unter anderem entwickelt, um auch Anflüge in bergigen Regionen zu ermöglichen, bei denen bisherige Instrumentenanflugverfahren aufgrund der Hindernissituation nicht durchführbar waren. RNP AR setzt u.a. eine Ausrüstung des Flugzeuges mit mehreren GNSS-Empfängern und Inertialnavigationssystemen voraus. Sie sind damit unabhängig von jeglichen Bodennavigationsanlagen. Die Vertikalnavigation erfolgt bei RNP AR über BaroVNAV und somit ebenfalls bordautonom. Zur Durchführung dieser Verfahren ist eine Autorisation erforderlich - „Authorization Required“, d.h., dass sowohl das zu verwendende Flugzeug und hier besonders seine Avionik als auch die Piloten einer gesonderten Genehmigung der zuständigen Behörde bedürfen (in Deutschland dem LBA), um RNP AR durchführen zu dürfen. In Kombination mit den Präzisionsanflügen wurden in SysTAvio Anflüge mit kontinuierlichem Sinkflug (Continuous Descent Approaches - CDA) [9][10] bei der Bewertung der entwickelten perspektivischen Anzeigemodi durchgeführt. Beim CDA kann im Vergleich zu konventionellen Anflügen durch einen geringeren Triebwerksschub der Treibstoffverbrauch reduziert werden. Dies wird zudem dadurch verstärkt, dass längere Zeit in einer höheren, effizienteren Flughöhe geflogen werden kann. Gleichzeitig kann die Schadstoffemission und durch eine größtenteils höhere Überflughöhe die Lärmimmission am Boden reduziert werden. Das Advanced Flight Management System (AFMS) des DLR ermöglichte die Anwendung der zuvor beschriebenen Verfahren in SysTAvio.

Bei der Evaluation der neuen perspektivischen Modi im Navigationsdisplay spielte in SysTAvio die Erfassung und Bewertung der Wettersituation durch den Piloten eine wesentliche Rolle. In dem Projekt Wetter und Fliegen befasste sich das DLR mit technischen Möglichkeiten zur Erhöhung der Sicherheit und Wirtschaftlichkeit des Flugverkehrs aufgrund widriger Wetterverhältnisse. Einerseits wurde ein integriertes Flughafenwettersystem für die Flughäfen Frankfurt und München erprobt, andererseits wurde ein bord- und bodengestütztes Steuerungs-, Überwachungs- und Informationssystem zur Optimierung des Flugverhaltens bei Windböen, Wirbelschleppen und Gewittern entwickelt. In SysTAvio wurden die in Wetter und Fliegen genutzten Gewitter-NOWCASTs in das neu entwickelte Anzeigekonzept integriert. Hierbei handelt es sich um eine Vorhersage von Gewitterentwicklungen auf Basis von Wetterradar- und Satellitenbilddaten für einen Zeitraum von einer Stunde [11]. Mit Hilfe dieser Informationen können sowohl Lotsen als auch Piloten prinzipiell Auswirkungen und Maßnahmen für die Verkehrslenkung bzw. Flugführung ableiten [12].

Inhaltlich bezogen sich die Arbeiten von SysTAvio auf sogenannte Synthetic Vision Systeme (SVS). SVS zeichnen sich dadurch aus, dass Gelände- und Umgebungsinformationen in den Flugführungsanzeigen dargestellt werden [13]. In dem Primary Flight Display (PFD) wird anstelle eines künstlichen Horizonts eine egozentrische,

perspektivische und synthetische Außensicht gezeigt. Im Navigationsdisplay (ND) vermittelt eine synthetische Karte Gelände- und Umgebungsinformationen in Form einer exozentrischen orthogonalen Ansicht (Draufsicht). SVS verbessern insbesondere bei eingeschränkten Sichtverhältnissen das Situationsbewusstsein von Piloten. Auf der anderen Seite besteht aufgrund der technologischen Möglichkeiten die Gefahr, Anzeigen zu überladen, sodass Piloten die entsprechenden Informationen nicht oder eingeschränkt erfassen können [13]. In SysTAvio wurden die exozentrischen orthogonalen Anzeigemodi des Navigationsdisplays durch exozentrische perspektivische Modi ergänzt. Hierbei wurde untersucht inwieweit das Situationsbewusstsein des Piloten bei Präzisionsanflügen auf Flughäfen im Gebirge sowie bei Gewittersituationen verbessert werden kann.

2.5 Zusammenarbeit

Im Rahmen des Verbundes wurden die Entwicklungen des Partners Diehl Aerospace sowie das von Diehl Aerospace unterbeauftragte Institut für Computergrafik der Universität Rostock beim DLR zur Evaluation zusammengeführt und integriert. Das DLR unterstützte Diehl Aerospace bei der Aufstellung und Analyse der cockpitseitigen Hardware-Anforderungen und Erstellung der A350-Standard-Anzeigeformate auf Basis von ARINC 661. Zudem integrierte das DLR das AFMS und die A350-Standard-Anzeigeformate in die Simulationsinfrastruktur von Diehl Aerospace. Während der Unterbeauftragung des DLR durch Diehl Aerospace unterstützte das DLR das Institut für Computergrafik der Universität Rostock bei der Realisierung synthetischer Darstellungen in Bezug auf die Integration zusätzlicher flugführungsrelevanter Informationen. Das DLR stellte hierbei der Universität Rostock Wetterdaten und mit Hilfe des AFMS generierte Anflugdaten zur Verfügung. Die von der Universität Rostock entwickelte Geländedarstellung wurde anschließend zusammen mit der von Diehl Aerospace entwickelten Grafik-Generierungshardware in den Cockpit Simulator des DLR integriert. Auf Basis dieser Arbeiten wurden dann abschließend die ARINC 661-Anzeigeformate, die synthetische Geländedarstellung, die Grafikhardware sowie das vom DLR entwickelte neue Anzeigekonzept im generischen Experimental-Cockpit (GECO) des DLR evaluiert.

Durch die Verwendung der grafischen Software-Entwicklungsumgebung SCADe erfolgte die Erstellung der ARINC 661 Anzeigeformate in enger Kooperation mit der Firma ESTEREL Technologies. Des Weiteren erfolgte in Zusammenarbeit mit der Firma QPAC die Anbindung des A320-Flugmodells an das AFMS sowie die Simulationsinfrastruktur des DLR.

3 Erzielte Ergebnisse

In den folgenden Abschnitten werden detailliertere Angaben zu den in SysTAvio vom DLR durchgeführten Arbeiten (AP1, AP2, AP3 und AP4) und die wesentlichen Ergebnisse des DLR beschrieben (Kapitel 3.5).

3.1 AP 1 Anforderungen Cockpit Displays und Controls

In AP1 wurden die Anforderungen für die zu entwickelnde IMA CDS Hardware sowie die Flugführungsapplikation als Grundlage für die Erstellung eines detaillierten Konzeptes in AP2 aufgestellt. Im Zuge dieses Arbeitspaketes wurde auch der Stand der Technik erhoben. Hierbei wurden aktuelle und zukünftige Anforderungen für die neue Anzeige- und Bedienschnittstelle für das AFMS sowie SVS analysiert. Die Anforderungen für den Einsatz des AFMS beziehen sich im Wesentlichen auf neue Flugführungsverfahren und operationelle Flugführungskonzepte. Dabei wurden insbesondere hochpräzise Anflugverfahren, wie z.B. steile und gekrümmte Anflüge oder Anflüge mit kontinuierlichem Sinkflug - „Continuous Descent Approaches“ (CDA) im Flughafen-Nahbereich betrachtet. Diesbezüglich soll der Pilot die Anflüge unter Berücksichtigung der Geländetopologie sowie zusätzlicher flugführungsrelevanter Informationen, wie beispielsweise Wetterinformationen, noch sicherer durchführen können. Dies bedeutet, den geplanten Anflug entsprechend der Gegebenheiten zu überwachen, die Situation zu erfassen und falls erforderlich entsprechende Maßnahmen für die sichere Fortsetzung des Fluges zu ergreifen. In AP1 wurden zudem die Evaluationsziele, der Rahmen für die Demonstration sowie die Simulationsumgebung definiert.

3.2 AP 2 Control und Display System

Basierend auf den Anforderungen aus AP1 wurde vom DLR ein Konzept für die neue experimentelle Anzeige- und Bedienschnittstelle für das AFMS erstellt. Parallel wurden von Diehl Aerospace ein Konzept, eine Systemarchitektur für das Control- und Display-System sowie die zu entwickelnde Grafik-Hardware entwickelt. Diehl Aerospace wurde bei der Erstellung der Systemarchitektur und erforderlicher Schnittstellen durch das DLR unterstützt. Des Weiteren wurde ein neues Simulationsframework implementiert. Dieses wurde für die Integration der ARINC661-Anzeigen (siehe AP3) in die Simulationsumgebung des Generic Experimental Cockpit (GECO) verwendet. Das AFMS wurde zur Planung steiler und gekrümmter Anflüge sowie zum sicheren Umfliegen flugführungsrelevanter Wetterphänomene mit Hilfe des Simulationsframeworks in die bzgl. X-Plane angepasste Simulationsumgebung integriert und mit den Avionik-Anzeigen verbunden. Die Integration der im Unterauftrag erstellten Standard-Avionikanzeigen sowie der in AP3 entwickelten Flugführungsapplikation (bestehend aus dem AFMS und den ARINC661-Anzeigen) auf dem RGVC erfolgte ebenfalls unter Verwendung des DLR-Frameworks. Das Framework ermöglichte ebenfalls die Integration der vom DLR erstellten Anzeigeformate Cockpit Demonstration Center von Diehl Aerospace in Frankfurt.

3.3 AP 3 Graphik- und Interaktions-Technologien

In diesem Arbeitspaket wurde vom DLR das neue Anzeige- und Bedienkonzept für das AFMS und die neuen perspektivischen Ansichten im „Synthetic Vision Navigations-

display“ realisiert. Im Zuge des Unterauftrages von Diehl Aerospace wurden die Standard-Avionikanzeigen des Airbus A350 vom DLR mit Hilfe der Entwicklungsumgebung ESTEREL SCADE realisiert. Es wurden das Primary Flight Display, Slats-Flaps-, Navigation Display und Vertical Cut Display, Engine Display und Teile des Multifunktionsdisplay auf Basis von ARINC661 implementiert. Des Weiteren wurde die Universität Rostock bei der Integration zusätzlicher Informationen (neben Gelände- und Wetterinformationen) in die Avionik-Anzeigen sowie bei der Entwicklung einer erweiterten Trajektorien- und Geländedarstellung unterstützt. Die neuen perspektivischen Anzeigemodi dienten hierbei als Basis und Rahmen für die Integration der von der Uni Rostock entwickelten Trajektorien- und Geländedarstellung im Navigationsdisplay (siehe Abbildung 15).

Als neue Bedienschnittstelle des AFMS wurde eine neue Wegpunktlistendarstellung realisiert. Diese wurde parallel zu den Anpassungen der Simulationsumgebung in AP2 umgesetzt. Der Schwerpunkt lag hierbei auf der Flugplanung und -durchführung. Zusätzlich wurden die Standardseiten für das FMS im Multifunktionsdisplay sowie die Basis für die synthetischen Ansichten im Navigationsdisplay implementiert.

3.4 AP 4 Demonstration und Evaluation Flugführung

Das neue Anzeigekonzept sowie das Gesamtsystem wurden abschließend im Cockpit-simulator des DLR im Rahmen einer Simulatorstudie mit Piloten evaluiert. Die Flugführungsapplikation wurde hierbei auf dem RGVC ausgeführt. Auf Basis der Ergebnisse aus AP1 und AP3 wurden die Evaluationsszenarien auf die Evaluationsziele angepasst und überarbeitet. In der Pilotenstudie wurden neben zwei Trainingsszenarien sechs Szenarien zur Untersuchung der zusätzlichen perspektivischen Anzeigemodi im Navigationsdisplay geflogen. Der Fokus lag dabei auf der Bewertung der koplanaren und perspektivischen Anzeigemodi in Verbindung mit Anflügen auf Flughäfen im Flachland und Gebirge unter Einschränkungen durch verschiedene Gewittersituationen. Für die Planung und Durchführung der Standard- und Präzisionsanflüge sowie Anflüge mit kontinuierlichem Sinkflug auf Frankfurt, Innsbruck und Sion wurden die Standardanzeigeformate des A350 sowie das AFMS eingesetzt. Diehl Aerospace unterstützte das DLR bei der Integration der Trajektorien- und Geländedarstellung sowie der Realisierung der Schnittstelle zur Nutzung der exozentrischen perspektivischen Ansichten auf dem RGVC. Zudem wurden ein Vorab-, ein Versuchs- und ein Abschlussfragebogen entwickelt, Unterlagen für das Probandenbriefing erstellt und die relevanten und zu speichernden Versuchsdaten ausgewählt und ausgewertet. Es zeigte sich, dass die exozentrischen orthogonalen und die perspektivischen Modi die Erfassung der räumlichen Gegebenheiten des Anfluges im Gebirge sowie bzgl. der Wettersituation verbesserten und das Situationsbewusstsein gesteigert werden konnte. Die Piloten bestätigten ebenfalls die Vorteile der perspektivischen Modi und befürworteten ihre Integration im ND.

3.5 Wesentliche Ergebnisse der DLR Aktivitäten

Die wesentlichen Ergebnisse des DLR lassen sich den folgenden vier Aktivitäten zuordnen:

- i) Implementierung der Standard-Anzeigeformate des Airbus A350 auf Basis von ARINC 661 sowie die Integration der Anzeigen in die Simulationsinfrastruktur des DLR
- ii) Realisierung synthetischer Ansichten in Verbindung mit ARINC 661
- iii) Entwicklung eines neuen Anzeige- und Bedienkonzeptes
- iv) Evaluation des Anzeige- und Bedienkonzeptes sowie des Gesamtsystems

Die Ergebnisse der zuvor genannten Punkte werden in den folgenden Abschnitten dargestellt.

3.5.1 Implementierung der Standard-Anzeigeformate des Airbus A350 auf Basis von ARINC 661 sowie die Integration der Anzeigen in die Simulationsinfrastruktur des DLR

Als Basis für die Entwicklung und Untersuchung neuer Anzeigekonzepte wurden die Standard-Avionik-Anzeigen entsprechend des Layouts vom Airbus A350 als aktuelles Großraumflugzeug implementiert. Abbildung 2 zeigt das PFD, das ND, das Slats/Flaps (SF) und Vertical Cut Display (VD). Das PFD, ND und VD wurden vom DLR im Unterauftrag durch Diehl Aerospace erstellt. Abbildung 3 zeigt das vom DLR im Projekt implementierte Engine und Warnings Display sowie das Multifunktionsdisplay (MFD). Das MFD umfasst dabei verschiedene Seiten zur Initialisierung und Verwaltung des Flugplans.

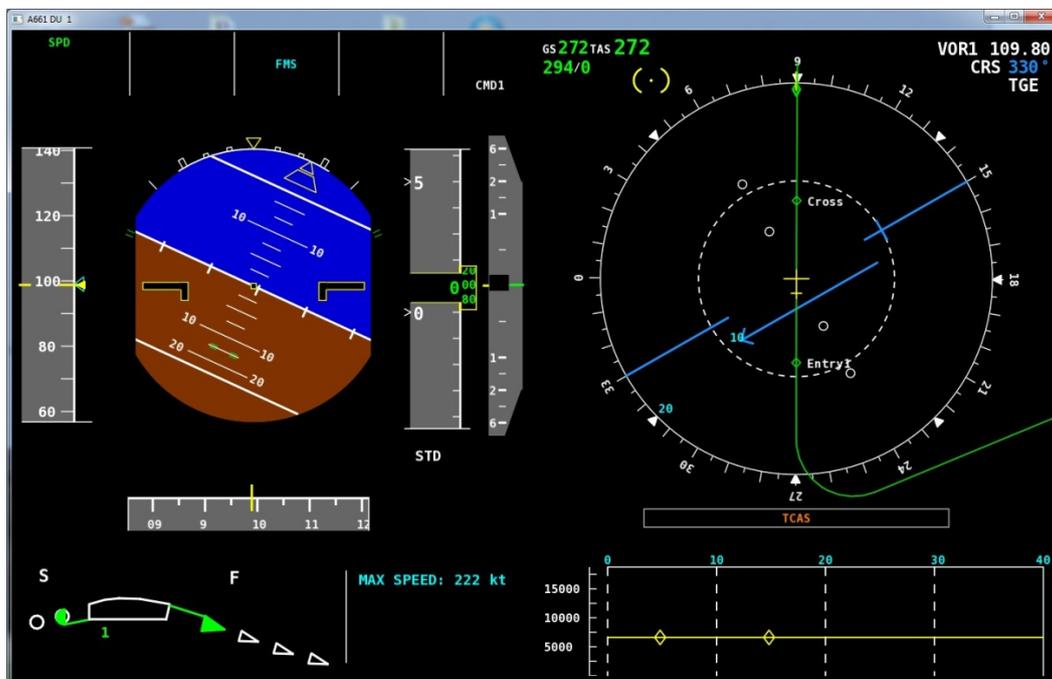


Abbildung 2: Primary Flight Display, Slats / Flaps, Navigation Display und Vertical Cut Display im Layout des Airbus A350

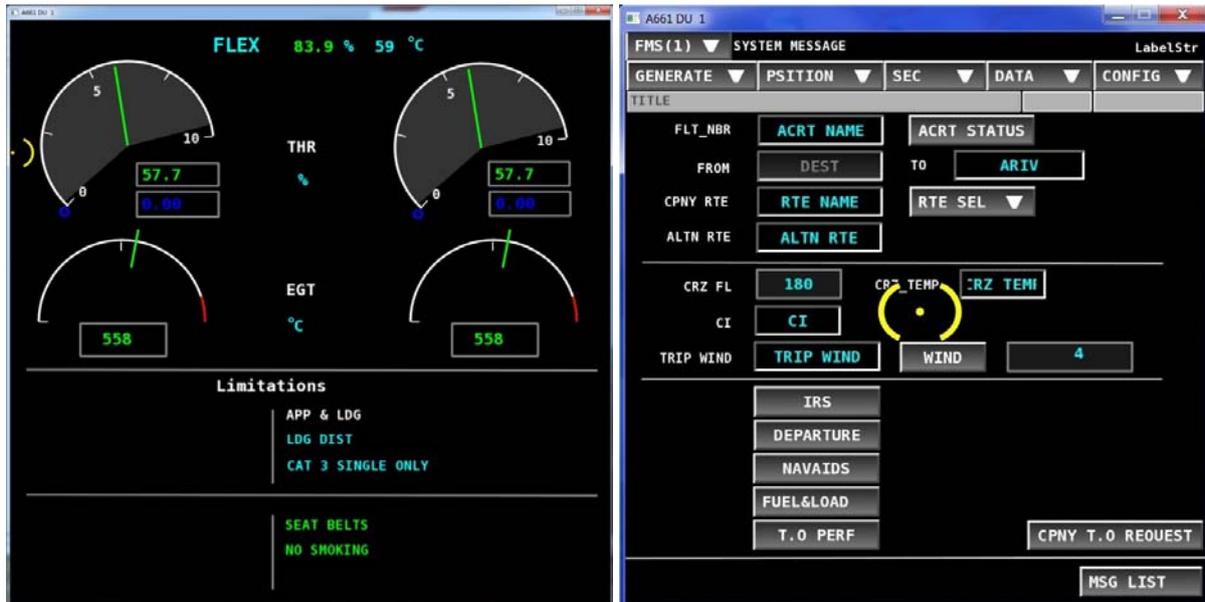


Abbildung 3: Engine and Warnings Display und Multifunktionsdisplay

Für die Erstellung der Anzeigen wurden insbesondere SCADA Suite sowie SCADA Display für ARINC 661 der modellbasierten, grafischen Entwicklungsumgebung SCADA von ESTEREL Technologies verwendet. Mit SCADA Suite wurde die Anzeigelogik und mit SCADA Display die Anzeige selbst implementiert. Abbildung 4 verdeutlicht SCADA Display UA Page Creator für ARINC 661, Abbildung 5 SCADA Suite und Abbildung 6 die Verknüpfung der Anzeige mit der Anzeigelogik für das im Projekt implementierte Primary Flight Display.

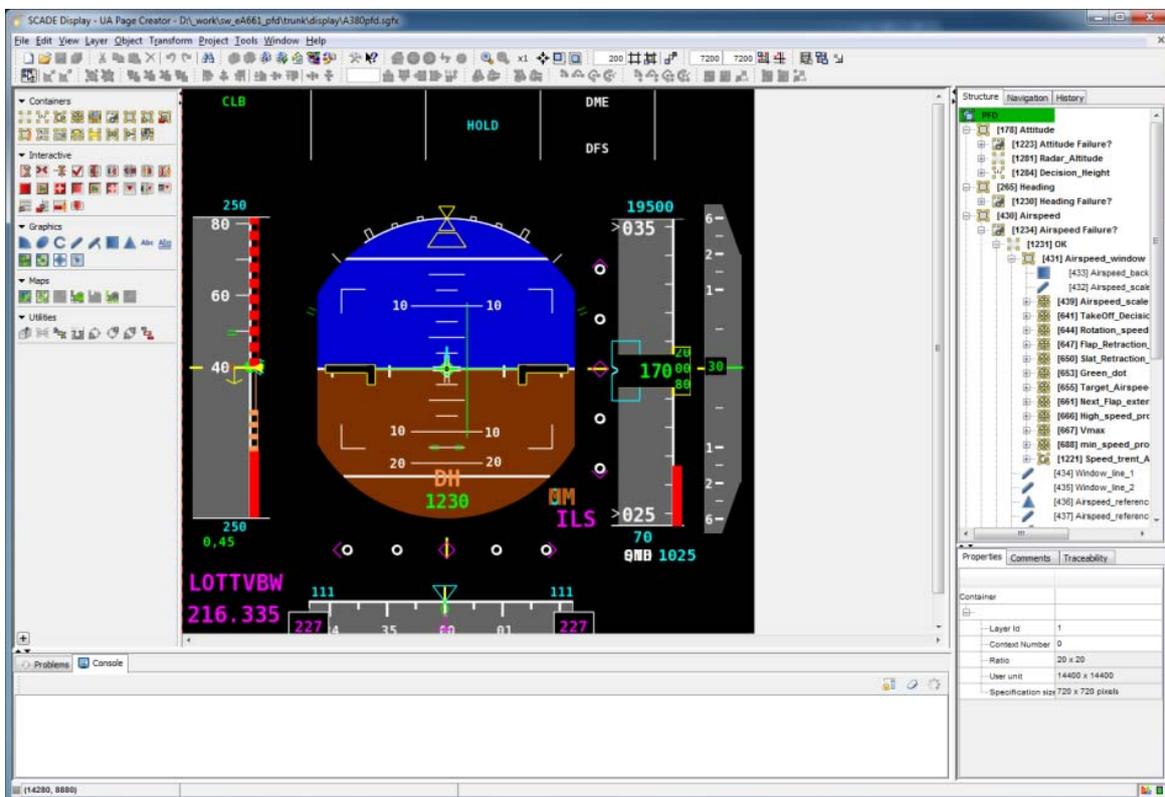


Abbildung 4: SCADA Display UA Page Creator für ARINC 661 von ESTEREL Technologies

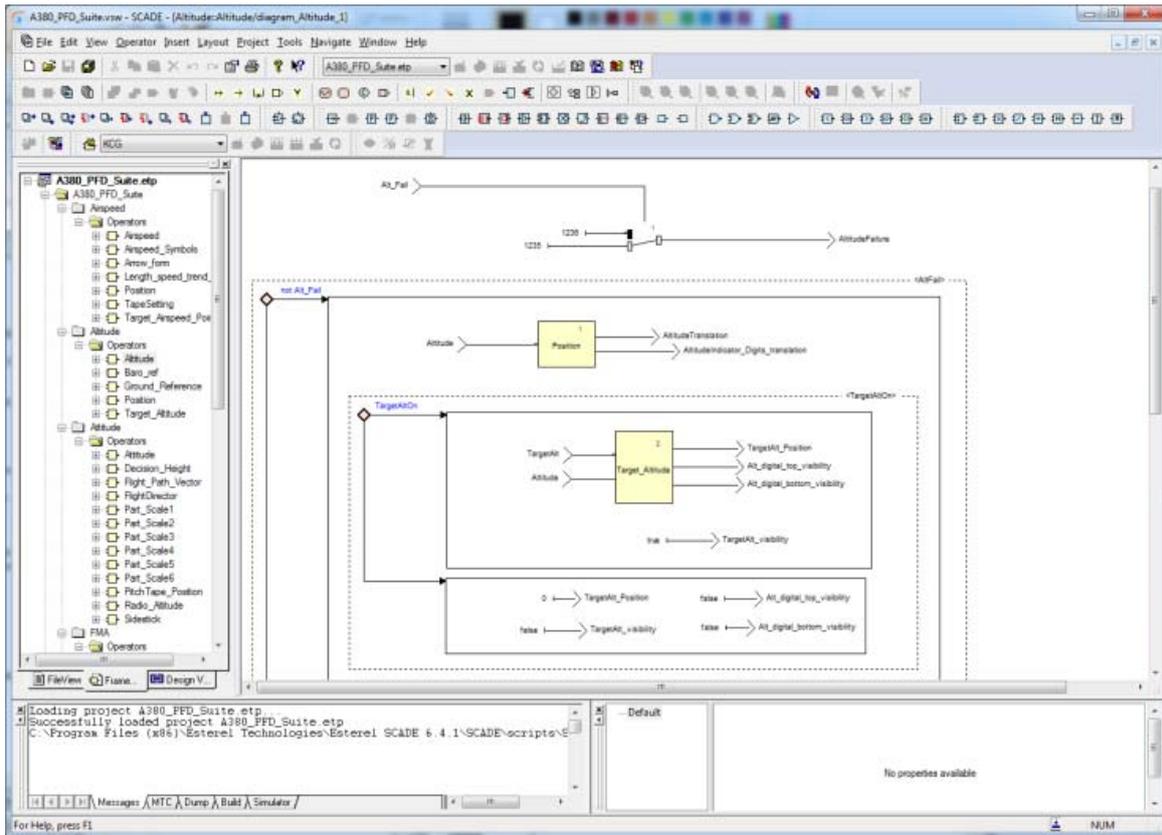


Abbildung 5: SCADE Suite und Display für ARINC 661 von ESTEREL Technologies

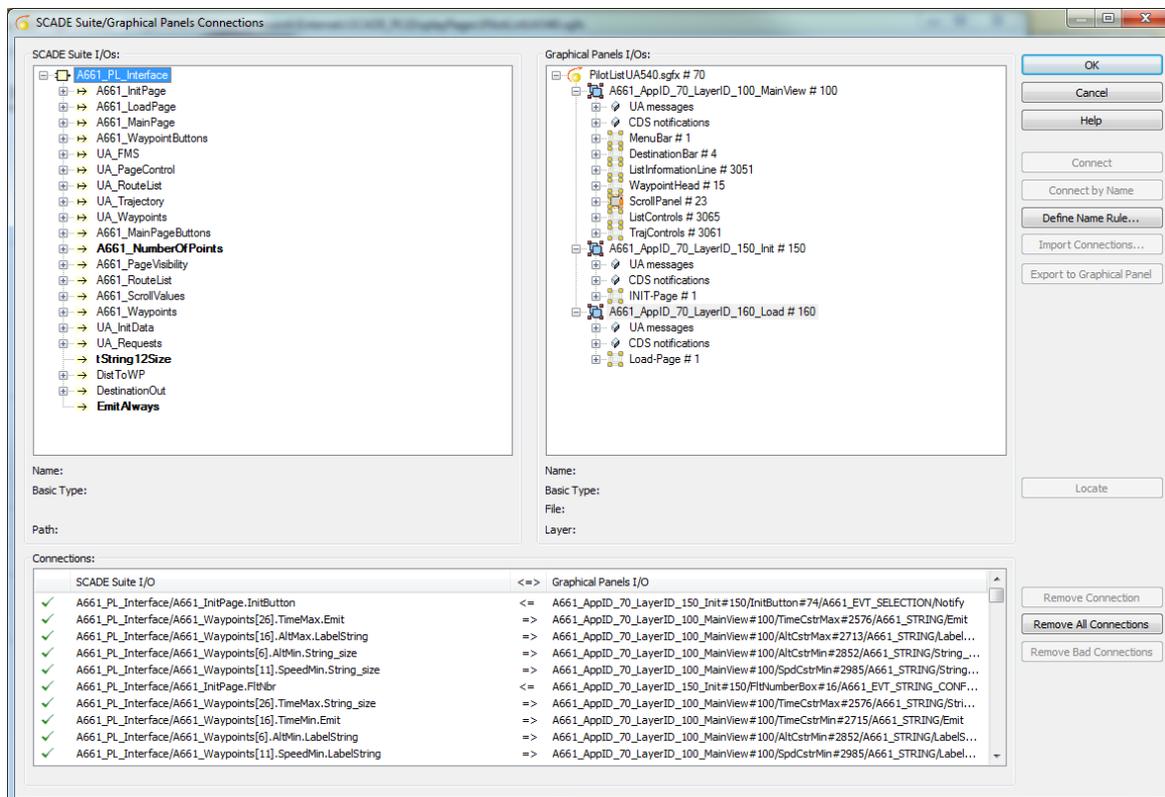


Abbildung 6: SCADE Suite und Display für ARINC 661 von ESTEREL Technologies

Die Anzeigen wurden über eine mit Diehl Aerospace entwickelte Schnittstelle in die Simulationsumgebung des DLR sowie von Diehl Aerospace integriert (vgl. Abbildung 7). In dem oberen Rahmen der Abbildung ist die DLR-spezifische Simulationsumgebung zu sehen. In dem unteren Rahmen ist die ARINC 661-Architektur abgebildet. Zwischen diesen beiden Rahmen befindet sich die spezifizierte Schnittstelle zur Anbindung und Entkopplung der Anzeigen an die firmenspezifische Simulations-Hard- und Software (wie z.B. die Cockpit-Bedienelemente, das AFMS und die Flugsimulation).

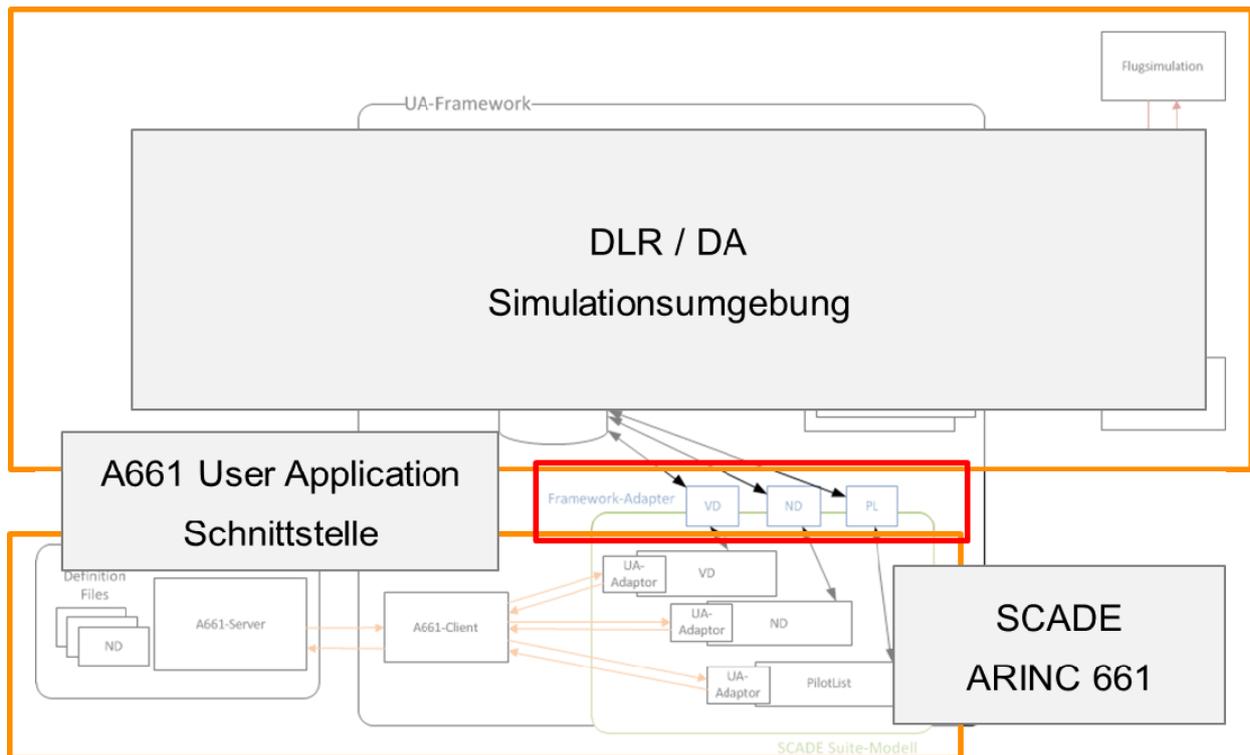


Abbildung 7: Framework zur Integration der ARINC 661-Architektur in die Simulationsumgebungen des DLR sowie DA

Abbildung 8 zeigt die im GECO integrierten Standard-Avionik-Anzeigen. Oben im Bild sind die Bedienelemente zu sehen, mit der unter anderem der Autopilot und die Anzeigen (auch elektronisches Fluginformationssystem – EFIS genannt) gesteuert werden. Darunter befindet sich ein LCD-Monitor mit dem PFD, ND, SF und VD, ein weiterer mit dem Engine Display sowie die Bedienelemente für das Fahrwerk. In der Mitte des Bildes unten ist ein dritter Monitor zu sehen, auf dem das MFD angezeigt wird. Über die Tastatur und den Trackball der „Keyboard and Cursor Control Unit“ erfolgt die Bedienung sowie Eingaben in das MFD zwecks Weitergabe an das AFMS.



Abbildung 8: Im generischen Experimental-Cockpit integrierte Standard-Avionikanzeigen

Auf dieser Basis können im GECO komplette Flugrouten, Teilwegstrecken sowie Ab- und Anflugrouten geladen und abgeflogen werden. Entsprechend ermöglicht das AFMS neben Standard-Anflugrouten auch Anflüge mit kontinuierlichem Sinkflug sowie steile und gekrümmte Anflüge.

3.5.2 Realisierung synthetischer Ansichten in Verbindung mit ARINC 661

Zur Demonstration der Leistungsfähigkeit der Grafikgenerierungshardware bildete die Erzeugung synthetischer Darstellungen für Gelände- und Wetterinformationen ein Schwerpunkt im Projekt. Abbildung 9 zeigt zwei Beispiele für Cockpit-Display-Systeme mit synthetischen Darstellungen. Links ist ein Avionik-System der Firma Honeywell abgebildet, das in Businessjets verwendet wird. Rechts ist ein zukunftsweisendes Konzept der Firma Thales in Form eines Funktionsdemonstrators zu sehen. Das besondere hierbei ist, dass es sich um ein großes durchgehendes Display mit berührungsempfindlicher Anzeige handelt.



Abbildung 9: Aktuelle und zukunftsweisende Cockpit Display Systeme
(links Honeywell EASy II [14] rechts THALES ODICIS Glass Cockpit [15])

Da der ARINC 661-Standard und entsprechend die Entwicklungsumgebung SCADA Display für ARINC 661 keine Unterstützung für die Realisierung synthetischer Darstellungen bot, wurde im Projekt ein Konzept entwickelt, das die Integration externer Bilddaten in die ARINC 661-Anzeigen ermöglicht. Das Konzept nutzt die Möglichkeit die im ARINC 661-Standard definierten Elemente durch benutzerdefinierte Elemente zur ergänzen. Damit ließ sich unter Verwendung von ESTEREL SCADA Display für ARINC 661 ein sogenanntes Video-Widget implementieren, das als zusätzliches ARINC 661-Element in den auf Basis des ARINC 661-Standards erstellten Standardanzeigen verwenden ließ. Abbildung 10 verdeutlicht das Konzept. Das Video-Widget stellt auf der einen Seite eine ARINC 661-Schnittstelle zur Verfügung und auf der anderen eine zweite Schnittstelle für die Einbindung der Bilddaten. Somit konnte unter anderem die Kameraposition und -richtung eines Bildausschnitts einer Geländedarstellung über die ARINC 661-Schnittstelle an das Widget übergeben werden. Dies wurde über die zweite Schnittstelle des Widgets an den externen Bildgenerator (hier X-Plane) übergeben und ein entsprechender Geländebildausschnitt berechnet und an das Widget übertragen. Die Bilddaten wurden dann von dem Video-Widget im ARINC 661-Kontext dargestellt.

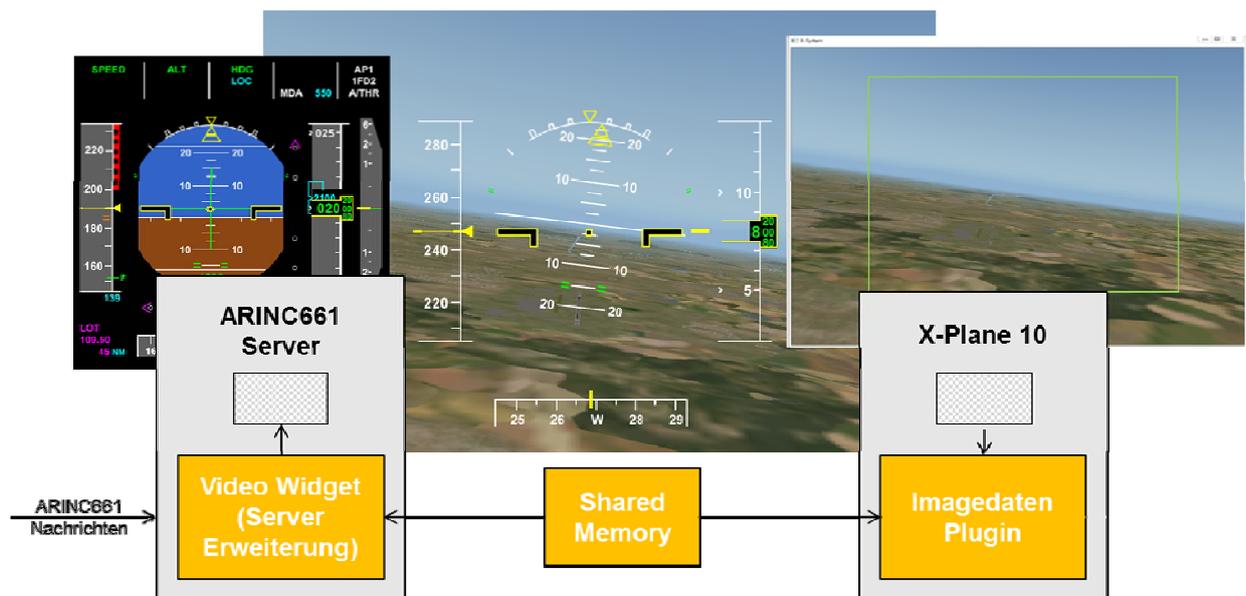


Abbildung 10: Konzept zur Integration von externen Bilddaten in den ARINC 661-Kontext

Mit Hilfe dieses Konzepts wurden die Standard-Avionikanzeigen entsprechend um synthetische Darstellungen zur Anzeige von Gelände- und Wetterdaten realisiert. In Abbildung 11 sind das PFD und ND in zwei Varianten dargestellt: zunächst ohne und darunter mit synthetischen Bilddaten.

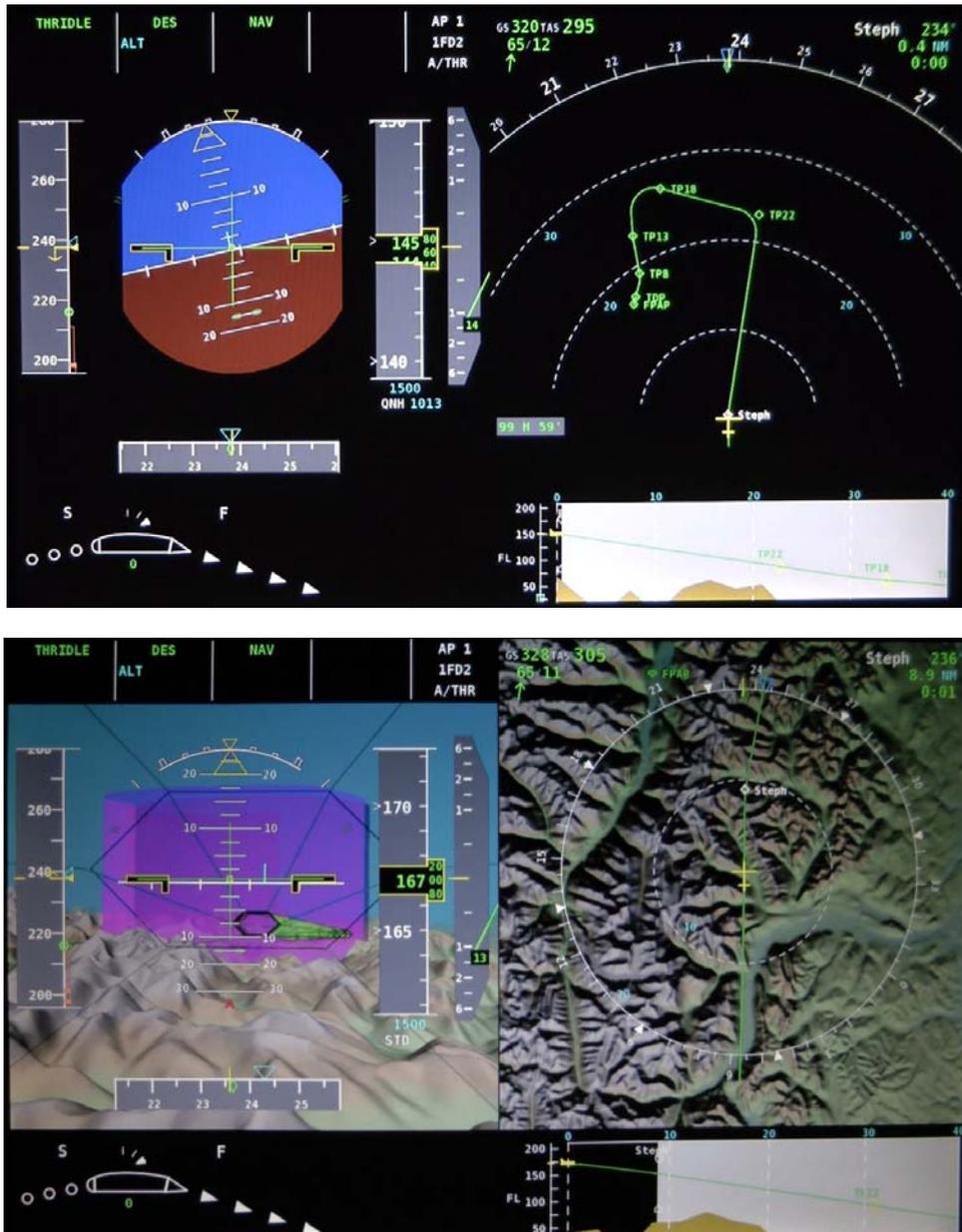


Abbildung 11: ARINC 661-Avionikanzeigen ohne und mit synthetischen Darstellungen

3.5.3 Entwicklung eines neuen Anzeige- und Bedienkonzeptes

Ein Schwerpunkt der DLR-Arbeiten in SysTAvio bildete die Entwicklung und Bewertung eines neuen Anzeige- und Bedienkonzeptes. Die Basis bildeten Avionikanzeigen mit synthetischen Darstellungen. Die Mehrheit der Systeme mit synthetischen Darstellungen verwenden eine egozentrische perspektivische Ansicht im Primary Flight Display und eine exozentrische orthogonale Draufsicht im Navigationsdisplay (vgl. Abbildung 12). Die perspektivische Darstellung im Primary Flight Display repräsentiert die Sicht des Piloten aus dem Cockpit nach draußen. Die orthogonale Draufsicht im Navigationsdisplay gleicht einer koplanaren Darstellung ähnlich einer Landkarte, woraus Entfernungen und Richtungen zwischen den abgebildeten Inhalten ermittelt werden können. Beide Ansichten haben ihre gewissen Vorteile und steigern nachgewiesener Maßen das Situationsbewusstsein von Piloten. Ein bedeutender Nachteil der ebenen Darstellung im

Navigationssysteme sind jedoch, dass die orthogonale Darstellung nicht der natürlichen perspektivischen Wahrnehmung und dem mentalen Modell des Menschen von seiner Umwelt entspricht. Auch die Einführung des Vertical Cut Displays, das einen Schnitt entlang der Trajektorie in einer exozentrischen orthogonalen ebenen Ansicht zeigt, unterstützt nur bedingt das räumliche Situationsbewusstsein. Demzufolge wurde vom DLR ein neues Anzeige- und Bedienkonzept für das Navigationssystem mit synthetischen Darstellungen entwickelt, das das räumliche Situationsbewusstsein des Piloten besser unterstützen soll. Das DLR hat in Ergänzung zu den herkömmlichen Anzeigemodi (ARC, ROSE und Plan) einen exozentrischen perspektivischen Anzeigemodus in das Navigationssystem integriert. Abbildung 12 zeigt das prototypische Navigationssystem mit dem gewohnten ARC Mode als Draufsicht (links) und die neue exozentrische perspektivische Darstellung (rechts).

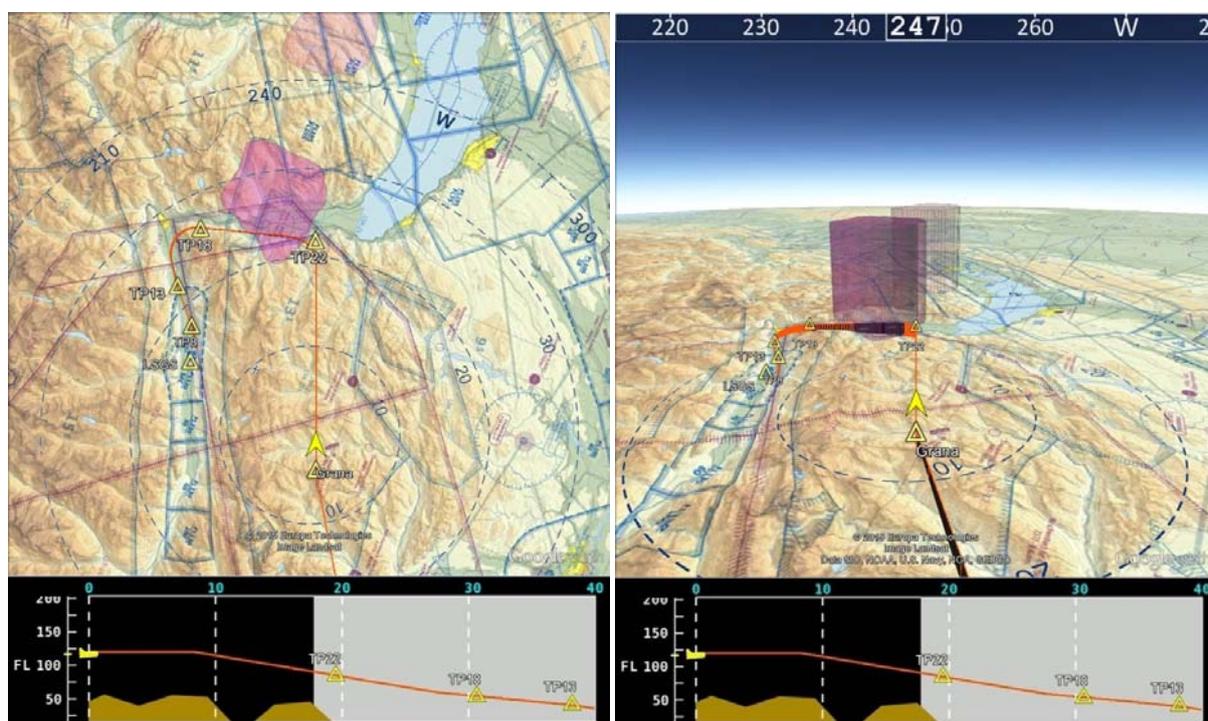


Abbildung 12: Orthogonale koplanare (links) und perspektivische (rechts) exozentrische Ansichten mit synthetischer Gelände- und Wetterdarstellung im Navigationssystem

Die perspektivische Darstellung wurde darüber hinaus durch zwei weitere Blickrichtungen ergänzt. Dementsprechend beinhaltet das Anzeigekonzept für das neue Synthetic Vision-Navigationssystem (SV-ND) die den orthogonalen ROSE und ARC Mode sowie die Perspektiven von hinten in Flugrichtung und von hinten rechts sowie von hinten links (siehe Abbildung 13).

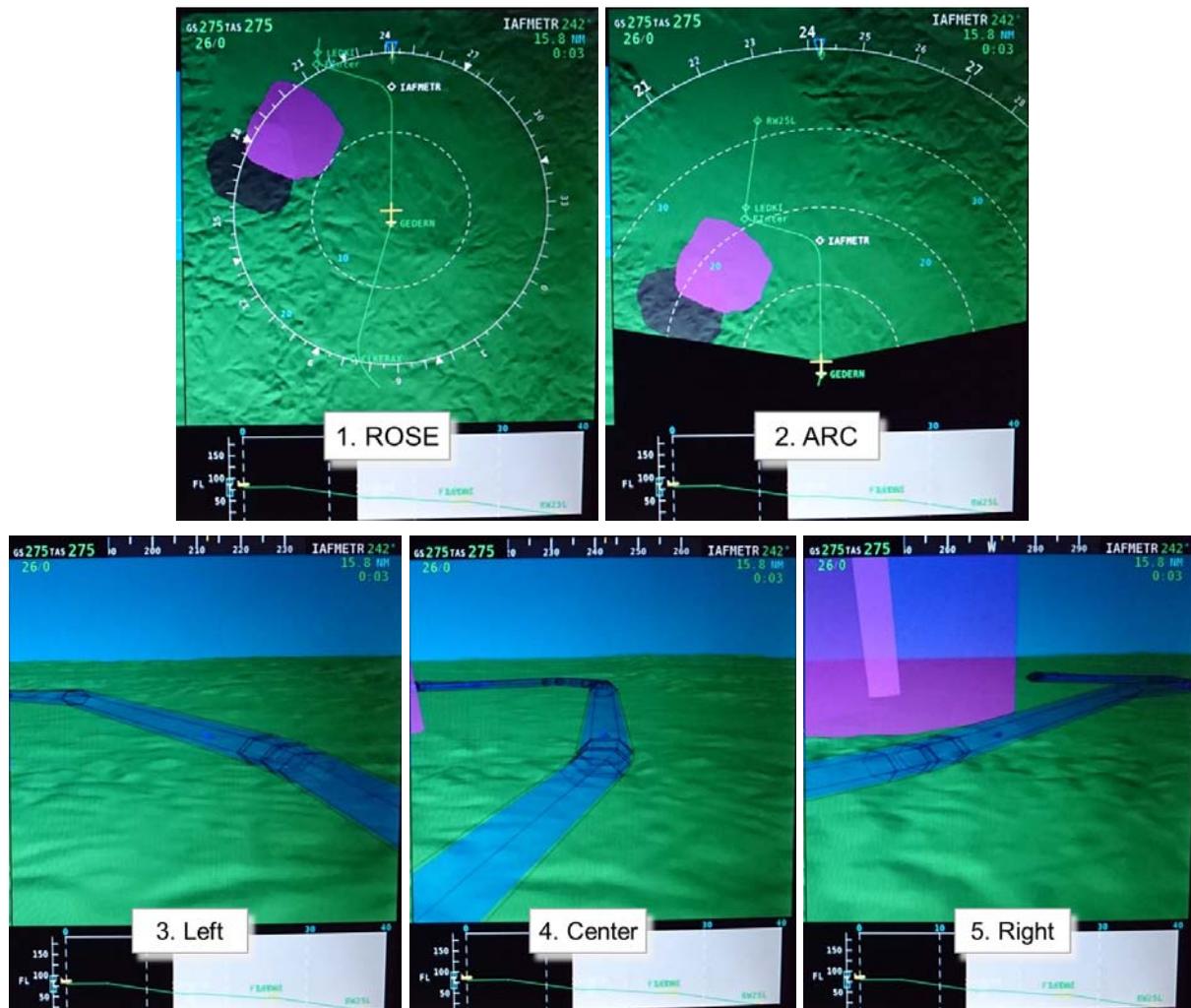


Abbildung 13: Anzeigemodi im SV-ND: 2D ROSE, 2D ARC, 2.5D-Center, -Left und -Right

In der Simulatorstudie konnten die Piloten die Anzeigemodi des Synthetic Vision-Nav-Displays über das Bedienpanel des elektronischen Fluginformationssystems (EFIS) steuern (siehe Abbildung 14 grün eingrahmt). Über die CSTR-Taste konnten die Piloten die orthogonalen bzw. die perspektivischen Anzeigemodi aktivieren, und mit Hilfe des Mode-Selectors konnte zwischen ARC und ROSE bzw. den Perspektiven gewechselt werden. Damit kann der Pilot die 2D- und 2.5D-Modi zur Erfassung der Flugzeugumgebung bzgl. Wetterlage und Geländemerkmale nutzen.



Abbildung 14: Bedienelemente für die orthogonalen und perspektivischen Modi des SV-ND

In der Simulatorstudie wurde dieses Konzept sowie das Gesamtsystem in Verbindung mit dem Remote Graphics and Video Controller zusammen mit der Software der Universität Rostock zur Berechnung der synthetischen Darstellungen erprobt. Abbildung 15 zeigt das Ergebnis exemplarisch für das Navigationsdisplay der ROSE Mode (links) und die exozentrische Perspektive (rechts) sowie für das Primary Flight Display die egozentrische perspektivische Ansicht. Hierbei kamen ebenfalls die zuvor in Kapitel 3.5.1 gezeigten, auf Basis von ARINC 661 implementierten und bzgl. der Integration externer Bilddaten erweiterten Standard-Avionikanzeigen (Kapitel 3.5.2) zum Einsatz.

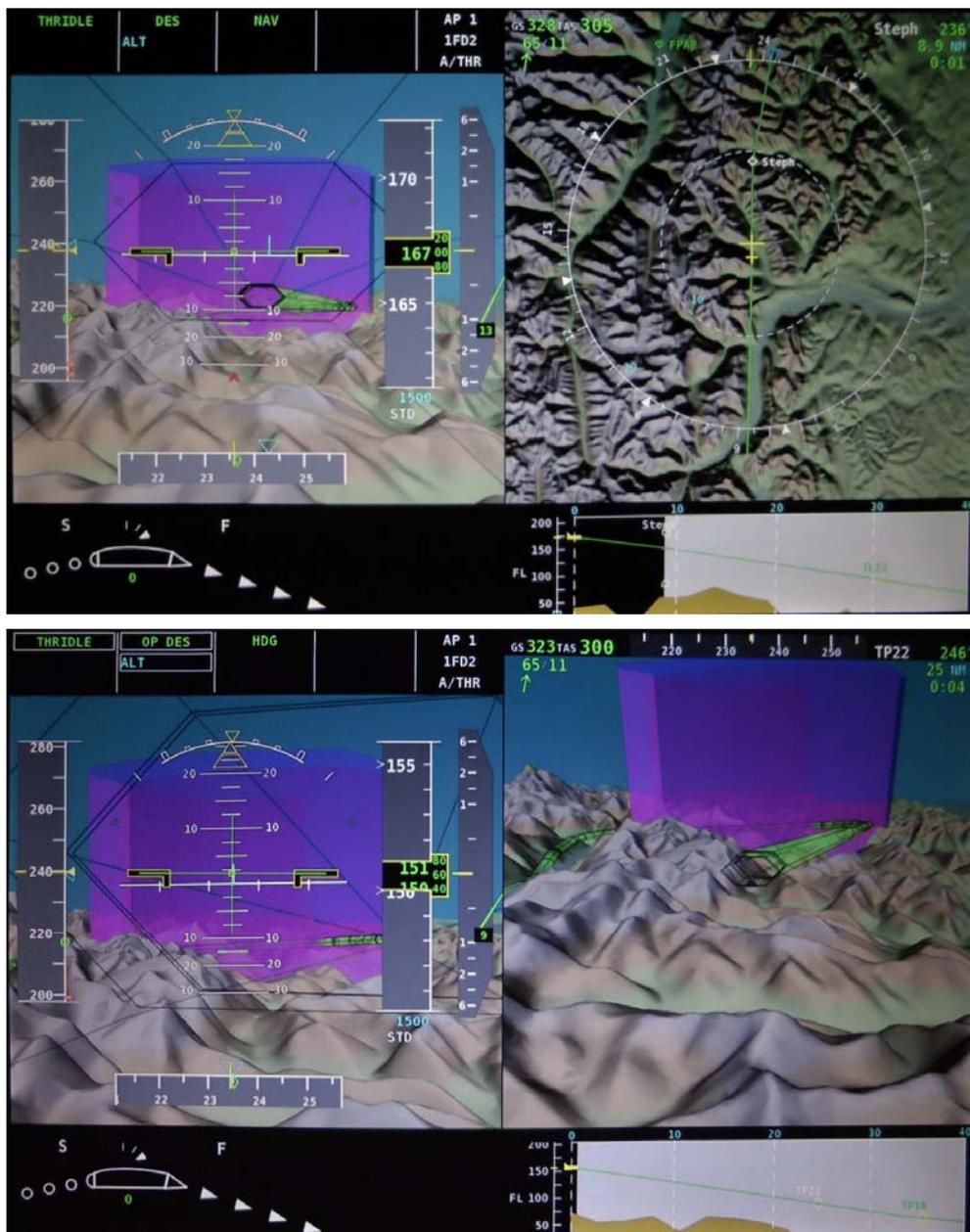


Abbildung 15: Finale Version des SV-ND mit orthogonalen und perspektivischen Anzeigemodi unter Verwendung des RGVC von Diehl Aerospace und der Software zur Generierung synthetischer Darstellungen auf dem RGVC der Universität Rostock (links: 2D ROSE-Mode und rechts: 2.5D ARC-Mode)

Abbildung 16 zeigt den beim DLR in das GECO integrierten Remote Graphics and Video Controller. Abbildung 17 zeigt das realisierte und integrierte Anzeige- und Bedienkonzept. Im Hintergrund ist die Außensicht des Simulators zu sehen. Darunter sieht man das Synthetic Vision Primary Flight Display mit Slats and Flaps Display, das SV-Navigationsdisplay mit Vertical Cut Display und daneben das Engine Display. Zentral darunter wird die erweiterte Wegpunktliste dargestellt. Das AFMS, die Flugsimulation X-Plane und das Simulationsframework sind nicht abgebildet.



Abbildung 16: Für die Simulatorstudie in das GECO integrierte Zielhardware Remote Graphics and Video Controller von Diehl Aerospace



Abbildung 17: GECO mit den auf ARINC 661 implementierten und zu einem SVS erweiterten Avionik-Anzeigen

3.5.4 Evaluation des Anzeige- und Bedienkonzeptes sowie des Gesamtsystems

Neben der Bewertung des Gesamtsystems lag der Fokus der Simulatorstudie auf der Untersuchung der Kombination der orthogonalen und der neuen perspektivischen Modi im Navigationsdisplay. Diesbezüglich wurde der Frage nachgegangen, inwieweit die Erfassung der Geländetopologie sowie der Gewitter-NOWCASTs durch den Piloten unterstützt wird und sich sein Situationsbewusstsein steigern lässt. In der Studie wurden Frankfurt (EDDF), Innsbruck (LOWI) und Sion (LSGS) als Zielflughäfen verwendet. Auf Frankfurt wurden verschiedene Standardanflugrouten gewählt, bei Innsbruck und Sion wurde jeweils ein GPS-Präzisionsanflug (RNAV) mit kontinuierlichem Sinkflug (CDA) geflogen. Frankfurt diente dabei als Beispiel für einen Flughafen im Flachland und Innsbruck und Sion als Beispiel für Flughäfen im Gebirge.

In Ergänzung zu den Anflügen auf Flughäfen in flachen und in bergigen Regionen wurden verschiedenen Gewittersituationen nachgebildet. Jeweils ein Anflug auf Frankfurt und Sion war ohne Gewitter. Daneben gab es ein Szenario mit einem Gewitter, das sich in der Nähe des Anfluges befand, ohne unmittelbaren Konflikt zum geplanten Anflug. Weiterhin gab es ein Szenario mit einem sich auflösenden Konflikt, d.h., dass sich das Gewitter zu Beginn des Anfluges im Konflikt mit dem Anflug befand, der sich im Verlaufe des Anfluges durch die Bewegung des Gewitters auflöste. Abschließend wurden noch ein Szenario mit einem entstehenden Konflikt und eins mit einem bleibenden Konflikt geflogen (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Szenarien der Simulatorstudie im Überblick

Nr.	Anflug	Terrain	Wetter (Nowcast)	Anflugart
Ü1	EDDF RW25L	Flach	Aufl. Konflikt	Standard
Ü2	LOWI RW08	Gebirge	Entst. Konflikt	RNAV + CDA
1	EDDF RW07L	Flach	Kein Wetter	Standard
2	LSGS RW07L	Gebirge	Kein Wetter	RNAV* + CDA
3	EDDF RW07R	Flach	Pot. Konflikt	Standard
4	LSGS RW07L	Gebirge	Aufl. Konflikt	RNAV* + CDA
5	EDDF RW25R	Flach	Entst. Konflikt	Standard
6	LSGS RW07L	Gebirge	Bleib. Konflikt	RNAV* + CDA

*DLR, Dipl. Ing. Marco Schneider u. Dr. Thomas Dautermann [2]

Die Gewittersituationen wurden auf Basis von synthetischen Gewitter-NOWCASTs **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** nachgestellt. Hierbei wurden die aktuelle Lage einer Gewitterzelle sowie die Prognose für die Gewitterentwicklung in den nächsten 15 Minuten nachgebildet. Die folgenden Darstellungen Abbildung 18 und Abbildung 19 verdeutlichen die Gewittersituationen für die zuvor genannten Szenarien. Die lila eingefärbten Gebiete stellen Gewitterzellen dar. Die dunklen Bereiche zeigen die aktuelle Lage zu Beginn des Szenarios. Die helleren lila Farbtöne stellen den 15-Minuten-Trend dar, wobei der Bereich mit dem hellsten Lila der 15-Minuten-Prognose nach Aktualisierung der NOWCAST während des Anfluges entspricht.

Die Trainingsszenarien dienen der Einführung, Veranschaulichung und Übung der neuen Modi sowie des Versuchsablaufs. Die Aufgabe der Piloten bestand darin, die Anflüge entsprechend des vom Advanced Flight Management System geplanten und berechneten Anfluges abzufliegen und dabei gleichermaßen das Gelände und die Wettersituation zu verfolgen und zu bewerten. Dabei sollten die Piloten mitteilen, wann das Gelände für sie von Bedeutung ist und inwieweit sie die Anflüge bei den gegebenen Wetterbedingungen fortsetzen würden. Zudem sollten die Piloten die Abstände zum Gelände und zum Gewitter bewerten sowie mitteilen, welche Abstände sie akzeptieren würden.

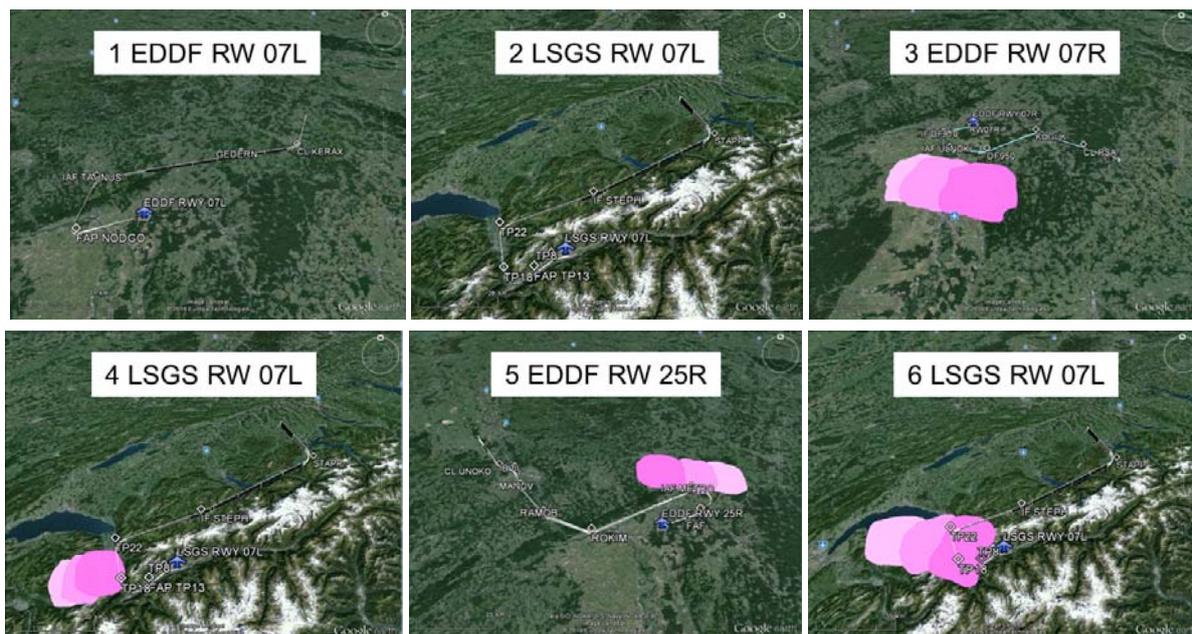


Abbildung 18: Gewittersituation der Evaluations Szenarien im Überblick



Abbildung 19: Gewittersituation der Trainings Szenarien im Überblick

An der Simulatorstudie nahmen 8 Piloten teil. Unter den Piloten waren fünf mit Berufspilotenlizenz (ATPL), einer mit kommerzieller Pilotenlizenz (CPL) sowie zwei mit einer Privatpilotenlizenz. Die Piloten waren alle männlich im Alter zwischen 29 und 54 Jahren ($\bar{41,5}$ Jahre) mit einer Flugerfahrung zwischen 400 und 20.000 Flugstunden ($\bar{5672,5}$ h).

Jeder Pilot wurde in den Versuch eingeführt und ausführlich instruiert. Vor der Durchführung der Trainings Szenarien wurde von den Piloten ein Vorabfragebogen ausgefüllt, bei dem allgemeine, personenspezifische Angaben zu Alter, Geschlecht und Flugerfahrung erhoben wurden. Nach der Vorstellung der Modi, Anzeigeformate sowie der Aufgabe wurden die 6 zuvor genannten Szenarien in permutierter Reihenfolge abgeflogen. Jedes Szenario wurde anhand eines Fragebogens bzgl. des Situationsbewusstseins (3D-SART) und der Beanspruchung (NASA-TLX) aus der Sicht der Piloten bewertet. Abschließend wurden die Piloten gebeten in einem Abschlussfragebogen das Anzeige- und Bedienkonzept sowie das Gesamtsystem zu beurteilen und den Nutzen bzgl. der Erfassung der Situation zu bewerten sowie evtl. Verbesserungsmöglichkeiten zu benennen. Es zeigte sich, dass die Vorteile der perspektivischen Modi bzgl. der räumlichen Erfassung des Anflugkontextes, die koplanaren Modi sehr gut ergänzten. In

Bezug auf die Gewitter wurden frühzeitig Konflikte erkannt und entsprechende Anpassungen des Anfluges zum Umfliegen des Gewitters abgeleitet. Zudem konnten alle Piloten sich die Nutzung der perspektivischen Modi sehr gut vorstellen. Auch die Steuerung der Kamerapositionen durch die Piloten wurde befürwortet.

3.6 Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Das Teilvorhaben „Bewertung neuartiger Anzeigekonzepte“ des Verbundvorhabens SysTAvio hatte die folgenden Ziele:

- i) Durchführung neuer, komplexer Anflugverfahren unter Nutzung neuartiger Anzeigen
- ii) Konzepte zum Umfliegen gefährlicher Wetterphänomene unter Nutzung neuartiger Anzeigen
- iii) Konvertierung der Software Applikationen auf industriekompatible Entwicklungsplattform
- iv) Anzeige und Interaktionssystem zur Reduzierung der Arbeitsbelastung in arbeitsintensiven Flugphasen
- v) Validierung des Gesamtsystems

Diese werden in den folgenden Abschnitten den erzielten Ergebnissen gegenübergestellt.

3.6.1 Durchführung neuer, komplexer Anflugverfahren unter Nutzung neuartiger Anzeigen

Bei dem Anflug auf den Flughafen Innsbruck wurde ein Präzisionsanflug RNP AR geflogen, der im Vergleich zu den Standardanflugrouten auf Frankfurt, einen nicht alltäglichen und anspruchsvollen Anflug insbesondere in der bergigen Umgebung sowie dem kontinuierlichem Sinkflug darstellt. Der Anflug auf den Flughafen Sion wurde parallel zu dem Projekt vom DLR neu erstellt. Dieser ermöglicht einen Präzisionsanflug mit 3-Grad Neigung. Die aktuellen Anflüge auf Sion erfordern erheblich steilere Anflugwinkel, die nur von entsprechenden Flugzeugmustern geflogen werden können. In Bezug zu dem neuen Anzeigekonzept wurde untersucht, ob das räumliche Situationsbewusstsein durch die perspektivischen Anzeigemodi im Navigationsdisplay im Allgemeinen sowie im Speziellen bezüglich der zuvor genannten Anflugverfahren gesteigert werden kann.

3.6.2 Konzepte zum Umfliegen gefährlicher Wetterphänomene unter Nutzung neuartiger Anzeigen

Durch die Betrachtung der NOWCASTs und unterschiedlicher Wettersituationen wurde zudem bezüglich des räumlichen Situationsbewusstseins untersucht, inwieweit das neue Anzeigekonzept die Erfassung und Bewertung der Gesamtsituation, d.h. des Anfluges in Bezug zum Gelände sowie in Bezug zu eventuellen Beeinträchtigungen durch Gewitter, unterstützt.

3.6.3 Konvertierung der Software Applikationen auf industriekompatible Entwicklungsplattform

Mit Hilfe der industriellen, grafischen Entwicklungsumgebung SCADA von ESTEREL Technologies erfolgte die Umsetzung der Standard-Avionikanzeigen auf Basis von ARINC 661 und zur späteren Integration auf der von Diehl Aerospace entwickelten Grafikgenerierungshardware.

3.6.4 Anzeige und Interaktionssystem zur Reduzierung der Arbeitsbelastung in arbeitsintensiven Flugphasen

Der Anflug und die Landung stellen neben Start und Abflug die arbeitsintensivsten Flugphasen bei Starrflüglern dar. Gemäß den vorherigen Erläuterungen wurde, in Verbindung zu der Steigerung des Situationsbewusstseins, ebenfalls untersucht, wie anspruchsvoll und belastend die Piloten die Durchführung der Anflüge mit dem neuen Anzeigekonzept bewerteten.

3.6.5 Validierung des Gesamtsystems

Durch die abschließende Evaluation erfolgte auch eine Validierung des Gesamtsystems, d.h. das neue Anzeige- und Bedienkonzept, das auf Basis der industriellen Grafikgenerierungshardware sowie dem Industriestandard ARINC 661 implementierten Avionik-Anzeigen realisiert wurde. Hierbei wurde gezeigt, dass das Gesamtsystem in der Lage ist und die erforderliche Performanz bereitstellt, um das Anzeigekonzept in Verbindung mit den verschiedenen Anflügen zur Anwendung zu bringen.

3.7 Vorträge und Veröffentlichungen

Im Rahmen des Projektes erfolgten folgende chronologisch aufgeführte Veröffentlichungen:

2013:

- Ebrecht, Lars (2013) [*SCADA Usage at DLR Aerospace - Towards IMA and ARINC661 display development.*](#) SCADA user group conference, 17.-18. Okt. 2013, Paris, Frankreich.

2014:

- Ebrecht, Lars (2014) [*New, future technologies, standards and HMI in the Cockpit.*](#) SCADA Academic Community Conference, 04.12.2014, Berlin.
- Ebrecht, Lars und Lipinski, Erik (2014) [*Synthetic vision meets ARINC 661 - Feasibility study of different integration concepts for terrain visualization in ARINC 661 avionic displays.*](#) In: SPIE Defense, Security + Sensing 2014. SPIE Press. SPIE Defense, Security + Sensing 2014, 5.-9. Mai 2014, Baltimore, USA.

2015:

- Ebrecht, Lars (2015) [*Modellbasierte Entwicklung von Avionik-Anzeigen und -Anwendungen mit ESTEREL SCADA.*](#) "Modellbasierte Softwareentwicklung in der Luft- und Raumfahrt - Was hat sich in der letzten Dekade getan?", 06. Okt. 2015, Garching bei München.

- Ebrecht, Lars und Schmerwitz, Sven (2015) [Route Augmentation Enhancing Situational Awareness and Flight Management](#). In: 34th Digital Avionics Systems Conference (DASC), IEEE/AIAA 2015, 3D5-1. IEEE. Digital Avionics Systems Conference (DASC), 2015 IEEE/AIAA 34th, 13-17 Sept. 2015, Prague. DOI: 10.1109/DASC.2015.7311406 ISBN 978-1-4799-8939-3.
- Ebrecht, Lars und Schmerwitz, Sven (2015) [Integration of a 3D perspective view in the navigation display: featuring pilot's mental model](#). In: Proceedings of SPIE, SPIE. Degraded Visual Environments: Enhanced, Synthetic, and External Vision Solutions 2015, Baltimore, USA. DOI: 10.1117/12.2177402 ISBN 978-1-62841-587-2.

2016:

- Ebrecht, Lars und Küppers, René (2016) [2D versus 2.5D Ansichten im Navigationsdisplay – Welche Ansicht unterstützt die Wahrnehmung von Gelände und Gewitter-NOWCASTs am besten?](#) Deutschen Luft- und Raumfahrtkongress, 13. - 15. September 2016, Braunschweig.

4 Referenzen

- [1] ARINC 661-5, "Cockpit Display System Interfaces to User Systems," <http://www.aviation-ia.com/aeec/projects/cds/index.html> (11 Apr 2014).
- [2] ESTEREL Technologies, 2014, SCADE Solutions for ARINC 661 Compliant Systems, <http://www.esterel-technologies.com/products/scadearinc-661/>.
- [3] Adam, V., 1999, AFMS und AHMI - Cockpitsystem für das integrierte Air Traffic Management, Innovative Bord- und Bodensysteme für den zukünftigen Luftverkehr, Berlin.
- [4] DLR, Inst. f. Flugführung, Advanced Human Machine Interface, http://www.dlr.de/fl/en/desktopdefault.aspx/tabid-1127/1591_read-3003/.
- [5] DLR, AT-One, Advanced Flight Management System, [http://www.dlr.de/fl/-Portaldata/14/Resourcen/dokumente/Veroeffentlichungen/AT-One7 - Advanced Flight Management System.pdf](http://www.dlr.de/fl/-Portaldata/14/Resourcen/dokumente/Veroeffentlichungen/AT-One7_-_Advanced_Flight_Management_System.pdf).
- [6] QPAC, Airbus A320 X-Plane Modell, <http://www.qpac-us.com/>.
- [7] Kuenz, A. und Becker, H. und Edinger, C. und Korn, B. (2008) Performance-Based TMA Handling for Mixed Traffic Using a Ground Based 4D-Guidance for Unequipped Aircraft. In: 2008 International Council of the Aeronautical Sciences (26). 26th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, 2008-09-14 - 2008-09-19, Anchorage, AK (USA). Volltext nicht online.
- [8] Schneider, M. und Dautermann, T. (2014) Bewertung von satellitennavigationsgestützten Instrumentenanflügen mit krummlinigen Flugbahnen. Diplomarbeit. DLR-Interner Bericht. DLR IB 112-2014/41, 100 S.
- [9] Lenz, H. und Korn, B. (2009) *Enabling Advanced Continuous Descent Approaches – Results of the European Project OPTIMAL*. 28th Digital Avionics Systems Conference, 25.-29. Okt. 2009, Orlando, USA.
- [10] Mollwitz, V. und Kuenz, A. (2007) Continuous Descent Approaches - Validation in Simulation and Flight Trials. ODAS 2007, 2007-10-17 - 2007-10-19, Göttingen.
- [11] Forster, C. und Tafferner, A. (2009) Nowcasting and forecasting thunderstorms for air traffic with an integrated forecast system based on observations and model data. WMO Symposium on Nowcasting, 30 August - 4 September 2009, Whistler, B.C., Canada.
- [12] Forster, C. (2011): "Innovative Gewitterinformationen für den Luftverkehr: Echtzeit-Demonstration der DLR Gewitter-Produkte am Flughafen München", DWD Luftfahrt-Kundenforum, München.
- [13] Parrish, R. V. et al, "Aspects of Synthetic Vision Display Systems and the Best Practices of the NASA's SVS Project," <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20080018605.pdf> (01 May 2008).
- [14] Honeywell EASy II, http://aerospace.honeywell.com/~/media/UWSAero/-common/documents/myaerospacecatalog-documents/BA_brochures-documents/Dassault-Falcon-EASy_II-upgrade.pdf
- [15] EU Project, "ODICIS (One Display for a Cockpit Interactive Solution) Final Report", http://cordis.europa.eu/publication/rcn/14021_en.html (December 2012).