

**SCHLUSSBERICHT
(öffentlich)****AMI-HORATIO**

Zuwendungsempfänger:

Airbus Urban Mobility GmbH

Förderkennzeichen:

20M2103A

Vorhabenbezeichnung:

**Air Mobility Initiative: Hochperformante Rechnerplattform
für das Flugregelungs- und Flugsteuerungssystem für
Urban Air Mobility Anwendungen**

Laufzeit des Vorhabens:

01. Oktober 2021 bis 31. März 2025

Erstellt: Robin Lantzsch AHD
 Sundaro Neth AUM
 Vitus Meidinger AUM

München, den 26.09.2025

Airbus Urban Mobility GmbH

Dr. Andreas Thellmann

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	3
I. Kurzbericht	5
I.1 Aufgabenstellung	5
I.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	6
I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	8
HAP 1: Anforderungen und Konzepte	8
HAP 2: Systeme und Komponenten	9
HAP 3: Aufbau Testumgebung	10
HAP 4: Integration und Verifikation	11
I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	12
I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	13
II. Eingehende Darstellung	15
II.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	15
II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	21
II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten	21
II.4 Voraussichtlicher Nutzen insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses	21
II.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts bei anderen Stellen	21
II.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses	22

Abkürzungsverzeichnis

ACT/FHS	Active Control Technology/Flying Helicopter Simulator
AFCP	Autoflight Control Partition
AFCS	Automatic Flight Control System
AFDX	Avionics Full-Duplex Switched Ethernet
AHD	Airbus Helicopters Deutschland GmbH mit Sitz in Donauwörth
AHF	Airbus Helicopters S.A.S. mit Sitz in Frankreich
AMI	Air Mobility Initiative
AP	Arbeitspaket
AUM	Airbus Urban Mobility GmbH mit Sitz in München
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BWB	Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung
CFK	Kohlefaserverbundwerkstoff
DAS	Diehl Aerospace
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
EASA	European Union Aviation Safety Agency
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
EPU	Electric Propulsion Unit - Elektrische Antriebseinheit
EUROCAE	European Organisation for Civil Aviation Equipment
eVTOL	Electric Vertical Takeoff and Landing Vehicle - elektrische Senkrechtstarter
FBW	Fly-By-Wire
FCS	Flight Control System
FE	Finite Elemente
FKZ	Förderkennzeichen
HAP	Hauptarbeitspaket
HW	Hardware
IFR	Institut für Flugmechanik und Flugregelung

ILS	Institut für Luftfahrtsysteme
IMA	Integrated Modular Avionic
LLI	Liebherr Aerospace (Liebherr-Aerospace Lindenberg GmbH)
LuFo	Luftfahrtforschungsprogramm der Bundesregierung
MTOW	Max. Takeoff Weight - Maximales Abfluggewicht
PFCP	Primary Flight Control Partition
PMFU	Primary Multi Function Unit
PtF	Permit to Fly - Experimentelle Flugfreigabe
RCM-FC	Remote Computing Module – Flight Control
SC-VTOL	Special Condition VTOL - EASA Regularien für eVTOL Fluggeräte
SFCP	Secondary Flight Control Partition
SMFU	Secondary Multi Function Unit
SW	Software
VMS	Vehicle Management System
VTOL	Vertical Takeoff and Landing Vehicle - Senkrechtstarter
UA	Unterauftrag
UAM	Urban Air Mobility
USUTT	Universität Stuttgart
WTD61	Wehrtechnische Dienststelle 61

I. Kurzbericht

Im Folgenden ist die Aufgabenstellung des Vorhabens zusammengefasst. Danach folgen eine Darstellung des Projektablaufs sowie der wesentlichen Ergebnisse und die Zusammenarbeit mit Dritten.

I.1 Aufgabenstellung

Hauptmotivation für das Vorhaben AMI-HORATIO war das übergeordnete Ziel, eine Grundlage zu schaffen um die Konzeption eines neuartigen Flugregelungssystems für die nächste Generation vollelektrischer, senkrechtstartender Fluggeräte mit verteilter Auftriebserzeugung (eVTOL) für urbane Mobilitätskonzepte (UAM) zu ermöglichen. Die Anforderungen durch zahlreiche Flugbewegungen über bewohntem Gebiet sind dabei vielfältig: Starts und Landungen im dichtbesiedelten Stadtgebiet erfordern ein Höchstmaß an Sicherheit bei gleichzeitig hohem Risiko von Störfaktoren. Multipropellerkonzepte können nicht vom Piloten direkt angesteuert werden, sondern benötigen jederzeit eine sehr stark ausgeprägte Politenassistenz und damit ein vollredundantes Fly-by-Wire (FBW) System. Ein zugehöriges Flugregelungssystem muss eine Integrität und Verfügbarkeit von $10E-9/h$ bieten und Common Mode Fehler vermeiden. Besondere Bedeutung hat auch die Reallokation der Steuerungsorgane bei Ausfall einer Antriebseinheit, um diesen Fehlerfall jederzeit sicher abfangen zu können. Aufgrund der extremen Gewichtsanforderungen bei gleichzeitig sehr geringem Bauraum müssen Onboardsysteme rund um die Flugregelung organisiert und integriert aufgebaut werden. Die Verknüpfung von Trajektorien- und Vehikelmanagement mit komplexen Avionikfunktionen sowie der Schnittstelle zu den elektrischen Antrieben ist ein Schlüsselfaktor zum Erfolg. Um mehrere solcher Funktionen mit dem richtigen Grad an Segregation zu hosten, wird das Konzept eines integrierten modularen Avionik (IMA) Rechners aufgegriffen.

Airbus Urban Mobility GmbH (AUM) wird zusammen mit ihrem Unterauftragnehmer (UA) Airbus Helicopters Deutschland (AHD) die Entwicklung des neuen IMA-Rechners durch Diehl Aerospace begleiten, Anforderungen an diesen definieren und die Verifikation des entwickelten IMA-Rechners bezüglich Umgebungstests und Core Software leisten. Der Kern der Aktivitäten bei AUM und AHD ist das Testen des entwickelten Flugsteuerungsrechners (DAL A Remote Computing Module – Flight Control (RCM-FC)) von Diehl Aerospace (DAS) auf Systemebene, einschließlich der Einbettung des Flugsteuerungsrechners des assoziierten Partners Thales. Hierfür wird eine Simulations- und Testumgebung geschaffen, die auf Testständen in Donauwörth und Marignane (Airbus Helicopters Frankreich (AHF)) zum Einsatz kommt. Die Tests erfolgen mit einem automatischen Testansatz auf Systemebene, der die Anzahl der manuell durchzuführenden Tests massiv reduziert und die reproduzierbare Wiederholung komplexer Tests bei notwendigen Konfigurationsänderungen (Software oder Hardware) erleichtert. Zusätzlich wird in Kooperation mit der Universität Stuttgart (USTUTT) auf Basis von Experimenten auf einer speziellen Bewegungsplattform (Kabelroboter) eine Gütefunktion erstellt, mit der das Gesamtsystem hinsichtlich Kinetose ("Reisekrankheit") entworfen und beurteilt werden kann.

I.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Technologisch baut das Vorhaben auf den beiden Airbus Demonstrator Programmen Vahana und CityAirbus auf und unterstützt die Entwicklung eines bemannten eVTOL Technologieträgers der nächsten Generation am Airbus Helicopters Standort Donauwörth. Das Vorhaben liefert dabei einen entscheidenden Beitrag für eine ausfallsichere Fly-by-Wire Flugregelung, als Grundlage für ein bemanntes eVTOL Konzept mit vollelektrischer verteilter Auftriebserzeugung. Im Sinne der europäischen Netzwerkbildung ist ein komplementäres Forschungsprogramm in Frankreich geplant (COVAE "Commande de Vol pour Aéronef Électrique"), bei dem der Fokus auf den Flugregelungsgesetzen sowie der Entwicklung eines dissimilaren Flugregelungscomputers liegt. Im Rahmen des Vorhabens ist eine kontinuierliche Abstimmung unter Einbindung der assoziierten Projektpartner geplant. Strategisch ist das Vorhaben in die Urban Air Mobility Initiative Ingolstadt eingebettet, bei der mehr als 80 Netzwerkpartner involviert sind. Des Weiteren besteht ein assoziierter Austausch mit den Partnern der Air Mobility Initiative, die vom Bayerischen Wirtschaftsministerium (Förderprogramm BayLu25 und HAMI) und dem Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI, Richtlinie „Innovative Mobilität“) unterstützt werden soll.

Erste Erfahrungen mit einem vierfach redundanten Fly-by-Wire/Fly-by-Light Flugsteuerungssystem wurden bei Airbus Helicopters Deutschland, speziell in der Automatic Flight Control System Fachabteilung (AFCS), mit der Entwicklung des Fly-by-Light Hubschraubers/Demonstrators EC135 Active Control Technology/Flying Helicopter Simulator (ACT/FHS) gewonnen, wobei der elektronische Erstflug im Jahr 2002 stattfand. Dieses (zivile) Verbundprojekt mit den Partnern Airbus Helicopters (vormals Eurocopter), Liebherr Aerospace (LLI), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und Wehrtechnische Dienststelle 61 (WTD61) wurde vom Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung (BWB) unterstützt. Die Entwicklung des Flugsteuerungssystems und der zugehörigen Software erfolgte noch nach der konventionellen Methodik.

Weitere Fördervorhaben für Prototypen von Hubschrauber Fly-by-Wire Systemen mit den oben genannten Merkmalen der flexiblen Konfigurierbarkeit in Redundanzgrad und Software-Redundanzmanagement wurden bereits bei Airbus Helicopters in Form der LuFo-Programme HC-FBX und SMART_HC_FBX durchgeführt. Partner und Unterauftragnehmer waren das Institut für Luftfahrtsysteme (ILS) der Universität Stuttgart und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) im Projekt HC_FBX sowie DIEHL Aerospace im Projekt SMART_HC_FBX. Im Projekt HC_FBX wurde ein skalierbares, modulares FBW Labor-Flugsteuerungssystem aufgebaut, wobei die Software-Schicht (Middleware) für das Redundanz-Management bereits als Instanz aus der Flexiblen Plattform des ILS generiert wurde. Die Control-Law Software für die „Advanced Control Laws“ wurde vom DLR entwickelt und aufsetzend auf die Middleware-Schnittstelle als Applikationssoftware integriert. Das redundante Flugsteuerungssystem wurde in eine Closed-Loop Labor-Umgebung mit realem Hubschrauber-Echtzeit-Modell integriert und seine Fehlertoleranz erfolgreich unter Einspielung umfangreicher Fehlerszenarien validiert.

Im Projekt SMART_HC_FBX wurden mit DIEHL mehrere Hardware-Design-Konzepte mit verschiedenen Gehäuse-Modul-Varianten eines FBW Flugsteuerungssystem CAD-mäßig synthetisiert und miteinander bzgl. Größe, Gewicht, Wartungsfreundlichkeit, etc. verglichen. Dabei wurde auch auf die Integrierbarkeit eines alternativen Bussystems (AFDX gegenüber

Flexray) eingegangen sowie dessen Einfluss auf bestimmte System-Design-Parameter wie Größe, Gewicht und thermisches Verhalten untersucht. Ferner wurden in SMART_HC_FBX mehrere elektrische Architektur-Varianten zur sicheren redundanten Stromversorgung von FBW Flugsteuerungssystemen erstellt und hinsichtlich Ausfallverhalten analysiert.

Somit wurden bei Airbus Helicopters mit dem Aufbau und der Validierung des FBW-System Laborprototypen in den LuFo-Projekten HC_FBX und SMART_HC_FBX bereits wertvolle Erfahrung mit der Software-Instanz aus der Flexiblen Plattform gewonnen. Mit der Durchführung der dazugehörigen Software Verifikations- und Validierungsaktivitäten konnte sich die AFCS/FBW-Fachabteilung bei Airbus Helicopters bereits mit dem systematischen Aufbau der Algorithmen zum Software-Redundanz-Management – wie es aus der Flexiblen Plattform generiert wird - konstruktiv auseinandersetzen und vertraut machen.

Im LuFo Projekt SESYMM geht es um das Thema Management der Komplexität. Ansätze des automatischen Testens auf Systemebene konnten bereits dort erprobt werden. In AMI-HORATIO werden diese Ansätze für ein UAM System mit einer Fly-By Flugsteuerungen erweitert.

Das Institut für Flugmechanik und Flugregelung (IFR) der Universität Stuttgart hat in dem LuFo Projekt CORINNE erste Ansätze für konventionelle Hubschrauberkonfigurationen in Bezug auf eine Komfort-Gütefunktion für den Einsatz beim Auslegen eines Flugreglers gesammelt. Im Rahmen dieses Projekts wurde eine Komfort-Metrik für Ganzkörpervibrationen in Hubschraubern entwickelt. Innerhalb von CORINNE wurden im geringen Ausmaß zusätzliche Experimente zur Erfassung und Modellierung der Kinetose in Hubschraubern durchgeführt, d.h. auch zum projektspezifischen Thema "Kinetose" sind bereits Vorkenntnisse vorhanden. Diese Gütefunktion konnte von AHD ebenfalls im Rahmen des Vorhabens CORINNE angewendet werden. Im Bereich der funktionalen Flugsteuerungsalgorithmen kann das IFR auf umfangreiche Erfahrung zurückblicken. So sind beispielsweise die entsprechenden Algorithmen für den CityAirbus und den Volocopter (jeweils Demonstrationsflüge) am IFR entstanden.

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben ist in vier Hauptarbeitspakete (HAPs) unterteilt:

HAP 1: Anforderungen und Konzepte

- Ziele des Arbeitspakets:
 - Definition der Anforderungen für den DAL A RCM-FC, abgeleitet von den Gesamtsystemanforderungen.
 - Definition des Simulationskonzepts und des Simulationsaufbaus.
 - Festlegung der Evaluierungskriterien.
 - Definition der notwendigen Schnittstellen mit anderen Testständen (z.B. Vehicle Zero oder Avionik Teststand).
 - Definition der Anforderungen an den Automatisierungsgrad der Tests auf Systemebene.
 - Definition der Kriterien für die Untersuchung des niederfrequenten Passagierkomforts im Hinblick auf deren Anwendbarkeit für die Flugreglerauslegung.
- Ablauf:
 - Im Rahmen von AMI-HORATIO wurden keine separaten Anforderungsdokumente erstellt, es wurden primär die Anforderungsdokumente vom CityAirbus NextGen herangezogen und Änderung bzw. Erweiterungen direkt in die Anforderungsdokumente auf Gesamtebene integriert.
 - Die Dokumente auf Gesamtsystemebene beinhaltet Anforderungen für folgende Gebiete: Funktionelle Architektur, Operative Modes, Funktionale Anforderungen, Leistungsanforderungen für die Rechner, Softwareanforderungen, Interface-Eigenschaften, Stromversorgung, Anforderung an Gewicht und Größe, Sicherheit, Zuverlässigkeit, Testbarkeit, Wartbarkeit, Umwelt.
 - Die Testlogik für Tests auf Systemebene mit gekoppelter Simulation auf realer Hardware wurde definiert.
 - Ein Testrechner in Donauwörth für die Nutzung von der Simulationsumgebung SMASH wurde aufgesetzt und in Betrieb genommen.
 - Eine Erweiterung für DOORS, mit der gezielt über eine Suchmaske Makros durchsucht werden können, wurde entwickelt.
- Änderungen in der Zielsetzung:
 - Keine Änderungen.

HAP 2: Systeme und Komponenten

- Ziele des Arbeitspakets:
 - Definition der Schnittstellen zwischen Core Software des DAL A RCM-FC und der Applikation, wobei AHF ihr Wissen zur zu integrierenden Applikation einbringt.
 - Definition der Modulkonfiguration für den DAL A RCM-FC.
- Ablauf:
 - Die Avionikdatenbank (GILDA) wurde anhand des Dokumentes “Avionik Architecture for Gamma PMFU/SMFU” CA4600D0002D00 erstellt.
 - Die Referenz-Simulation wurde anhand der GILDA-Datenbank aufgesetzt.
 - Zur Abbildung von RS485- und CAN-Busse wurden die entsprechenden Tools erweitert.
 - Die Simulation und die GILDA-Datenbank wurden durch fortschreitende Entwicklung iterativ aktualisiert.
- Änderungen in der Zielsetzung:
 - Keine Änderungen.

HAP 3: Aufbau Testumgebung

- Ziele des Arbeitspakets:
 - Definition und Aufbau der Testumgebung.
 - Anpassung der Toolkette für die automatische Testdurchführung an die Bedürfnisse des DAL A RCM-FC, inklusive Definition von automatisch ablaufenden Tests auf Systemebene.
 - Erstellung der Simulation, wobei die Interaktion der Simulation für automatisches Testen und die modulare Kopplung von Hardware berücksichtigt werden müssen.
- Ablauf:
 - Die Avionik-Datenbank wurde auf einen EasiTester zur Ermöglichung der Ansteuerung der Interfaces für CAN und Arinc 429 geladen.
 - Die Referenz-Simulation wurde erweitert.
 - Die PMFU/SMFU-Modelle als Teil der Avionik wurden implementiert.
 - Die Referenz-Simulation wurde an den EasiTester gekoppelt.
 - Der EasiTester wurde mit EasiPlayer gekoppelt, das die Definition und Ausführung von Testszenarien erlaubt.
 - Die HORATIO-Bench wurde in Donauwörth aufgebaut, verkabelt und in Betrieb genommen.
 - Die Referenz-Simulation wurde vervollständigt.
 - Die RS485 Kopplung wurde bereitgestellt.
- Änderungen in der Zielsetzung:
 - Keine Änderungen.

HAP 4: Integration und Verifikation

- Ziele des Arbeitspakets:
 - Ausrollen der Simulation auf verschiedenen Testständen.
 - Integration des DAL A RCM-FC bei AHD und AHF.
 - Integration des vom assoziierten Partners Thales entwickelten eFCC (Flight Control Primary) auf den Testständen bei AHD.
 - Analyse und Vergleich der Testergebnisse auf Modul- (z.B. Umgebungstests von DAS) und Systemebene mit den Anforderungen.
- Ablauf:
 - Die Software und die Applikation wurden integriert.
 - Die Software wurde auf der Test Bench verifiziert.
 - Die Integration der Referenz-Simulation in den FCS Desktop Teststand und in den Vehicle Zero Teststand wurde fortgesetzt und vervollständigt.
 - Die Referenz-Simulation wurde auf den Testständen bei AHF integriert.
 - Die Integration wurde um den Unidirektionalen Bus erweitert.
 - Fehlerfälle wurden modelliert und manuelle Tests für einen spezifischen Fehlerfall der Motoren durchgeführt.
 - Piloten wurden mit Hilfe der Simulation und der modellierten Fehlerfälle trainiert.
 - Die Sensormodellen wurden durch Vergleich von Messdaten der realen Sensoren im Prototyp mit simulierten Daten verfeinert und angepasst.
 - Auftretende Fehler innerhalb des Systems in der Teststandsumgebung im Zusammenspiel mit den Flugsteuerungsrechner wurden identifiziert und behoben.
 - Die Robustheit der Teststandsumgebung wurde verbessert.
 - Automatisierte Tests wurden ausgeführt: Arinc429-Interfacetests, Analogsignaltests und pilotierte Flugszenarien.
 - Die Ergebnisse aller oben genannten Testkategorien wurden größtenteils semi-automatische dokumentiert und ausgewertet
- Änderungen in der Zielsetzung:
 - Keine Änderungen.

I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

„Herkömmliche“ elektronische FBW Flugsteuerungssysteme sind hubschrauberspezifisch ausgelegt, mit entsprechend hohen Entwicklungskosten. Eine Serienanwendung ist vereinzelt nur bei großen Hubschraubern möglich. Von bestimmten Herstellern wie BAE Systems werden zwar bereits „fertige“ Fly-by-Wire Hardware Systeme angeboten, wie sie z. B. auch im Hubschrauber Sikorsky S92 FBW in Form eines Triplex-Channel-redundanten Flugsteuerungssystems integriert sind. Ebenso ist der neu entwickelte Hubschrauber Bell 525 mit einem FBW Flugsteuerungssystem von BAE Systems ausgestattet. Kennzeichnend für diese „Off-The-Shelf“ Systeme ist jedoch ihre relativ starre Hardware-Struktur bei vorgegebenem Redundanzgrad der Flugsteuerungskanäle. Eine flexible Redundanzskalierung zur Anpassung an verschiedene Hubschrauber-klassen bzw. Betriebsanforderungen hingegen ist damit kaum möglich.

Die beschriebenen Ansätze sind bisher nur auf konventionelle Hubschrauber angewendet worden. Derzeit befindet sich noch kein nach SC-VTOL zugelassenes vollelektrisches Vehikel, welches sowohl eine pilotierte, als auch eine autonom fliegende Konfiguration ermöglicht, im Einsatz.

Neuartige Konzepte für UAM erfordern Systeme, die sowohl eine pilotierte, als auch eine autonom fliegende Konfiguration ermöglichen. Das FCS muss hierbei eine Integrität und Verfügbarkeit von je 10E-9/Fh aufweisen und sogenannte Common-Mode-Fehler vermeiden. Bei heutigen Systemen sind die einzelnen Applikationen (FBW, VMS, FCS, AFCS usw.) auf unterschiedliche Rechner verteilt. Eine Innovation besteht darin, die komplexen unterschiedlichen Funktionen (Applikationen) mit dem richtigen Grad an Segregation (IMA-Konzept) in einen Rechner zu integrieren. Eine weitere besteht darin, eine volle Verfügbarkeit ohne jegliche Degradation während der Mission bereitzustellen, da ggf. kein Pilot an Bord ist, um diese Degradation zu kompensieren und auch Notlandungen in urbanem Gebieten nur beschränkt möglich sind. Das Schlüsselement ist der hier zu entwickelnde Flight Control Computer (FCC) als ein Element des FCS. Das FCS basiert auf der FBW-Konzeptarchitektur, die eine Reihe von mehrfach redundanten und unterschiedlichen FCC (Typ1: THA; Typ2: DAS) mit voller Verfügbarkeit kombiniert. Eine weitere Innovation besteht in der Optimierung des Gewichts und des Bauraumes für derartige kleine UAM Luftfahrzeuge. Weiterhin muss u.a. der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) und hohen Vibrationsanforderungen Rechnung getragen werden, da hier erstmalig ein vollelektrischer Flieger mit dem hier entwickelten FCC ausgestattet werden soll.

I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die AUM arbeitet im Rahmen dieses Vorhabens eng mit dem Unterauftragnehmer AHD zusammen. AHD stellt dabei sein technisches Know-how in der Entwicklung von Flugsteuerungssystemen und dem Aufbau komplexer Teststände inklusive Simulationsanbindung zur Verfügung. Die Zusammenarbeit erfolgt in einem integrierten Team.

Zu den Kerninhalten der Zusammenarbeit gehören:

- Gemeinsame Herunterbrechen der Anforderungen an ein Flugsteuerungssystem für den von Diehl Aerospace (DAS) zu entwickelnden DAL A RCM-FC mit Airbus Helicopters s.a.s (AHF) als assoziiertem Partner.
- Schaffung einer Simulationsumgebung, die nach der Einbindung des DAL A RCM-FC von DAS und des eFCC (Flight Control Primary) von Thales (assoziiertes Partner) auf Testständen von AHD und AHF genutzt werden kann.
- Begleitung des Entwicklungsprozesses bei DAS durch AHD, um die Einhaltung der Anforderungen durch regelmäßige Reviews zu gewährleisten.
- Implementierung und Durchführung von Tests mittels entwickelter automatischer Testdurchführung, um die Einhaltung der Anforderungen auf Systemebene zu garantieren.

Die Universität Stuttgart führt zudem auf dem Gebiet des Passagierkomforts Grundlagenuntersuchungen in Anlehnung an und Erweiterung bestehender Erkenntnisse zu klassischen Hubschraubern (aus dem LuFo V-3 Projekt CORINNE) durch. Die resultierenden Gütefunktionale sollen für die entsprechende Anpassung und Optimierung der Flugregelung bei Airbus verwendet werden.

Die Universität Stuttgart wird folgende Kernthemen bearbeiten:

- Sammlung und Recherche der Literatur hinsichtlich der Entstehung der Kinetose bei Menschen.
- Die Literaturrecherche führt zur Analyse bestehender Methoden zur Erfassung und Bewertung von Kinetose.
- Die Analyse soll zur ersten Definition potenzieller Gütefunktionen mit unbekanntem Parametern führen, die zur Anwendung bei der Reglerauslegung dienen.
- Das IFR erstellt eine experimentelle Kampagne zur Identifikation unbekannter Parameter der Gütefunktionen.
- Hierzu werden Kinetose provozierende Flugtrajektorien (Testszenarien) definiert und an den Partner AHD übermittelt.
- Nach Erhalt der Flugtrajektorien von AHD wird die experimentelle Kampagne vorbereitet und durchgeführt.
- Die Auswertung der durchgeführten Kampagne führt zur Ableitung der endgültigen Gütefunktion, die an AHD übermittelt wird.

Darüber hinaus besteht eine enge Abstimmung mit dem komplementären Forschungsprogramm in Frankreich (COVAE «Commande de Vol pour Aéronef Électrique»), das sich auf Flugregelungsgesetze und die Entwicklung eines dissimilaren Flugregelungscomputers konzentriert. Strategisch ist das Vorhaben in die Urban Air Mobility Initiative Ingolstadt und die Air Mobility Initiative eingebettet, die eine Vielzahl von Netzwerkpartnern umfassen und von verschiedenen Ministerien unterstützt werden.

II. Eingehende Darstellung

II.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Ziel - Spezifisch:

- Integration des DAL A RCM-FC auf Gesamtsystemebene FCS in „Vehicle Zero“ Teststand.
 - Dieses Ziel wurde mit HAP4 abgeschlossen.
 - Abbildung 1 zeigt schematisch die für den Teststand notwendigen Komponenten und die entsprechenden Verantwortlichkeiten. Zunächst werden die Applikationen für den eFCC (PFCP) sowie den RCM-FC (SFCP) benötigt. Diese werden in die entsprechenden Hardwarevarianten von Thales bzw. SMFU von Diehl, integriert. Diese realen Flugsteuerungsrechner wurden dann mit der Referenz-Simulation (SW Simulation), die die Avionik und Flugmechanik abbildet, gekoppelt (HW Kopplung).

Der realisierte, voll integrierte Aufbau, in diesem Fall für den Vehicle “Zero” Teststand, ist in Abbildung 2 dargestellt. Auf der linken Seite ist der Anteil der Referenz-Simulation und auf der rechten Seite ist der Hardware spezifische Anteil dargestellt.

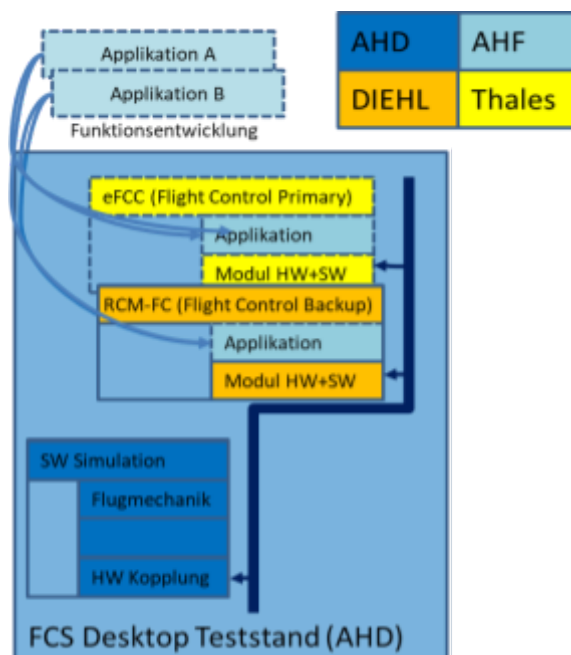


Abbildung 1: Übersicht Teststandskomponenten am Beispiel FCS Desktop Teststands bei AHD



Abbildung 2: Realisierter, integrierter Teststandaufbau

Ziel - Messbar:

- Reduktion von 8% in Bezug auf das Gesamtgewicht aller 4 Kanäle der Flugsteuerung (3 eFCC von Thales und 1 DAL A RCM-FC von Diehl). Die Angabe bezieht sich auf die Flugsteuerung des ACT/FHS, den Technologieträger des DLRs mit einer Fly-By-Light Flugsteuerung. Hier haben die 4 Kanäle der Flugsteuerungsrechner ein Gesamtgewicht von 13 kg (2 Gehäuse mit je 2 Kanälen, ein Gehäuse wiegt 6,5 kg). Zusätzliche Reduktion des Gewichtes durch den Wegfall von Rechnern mit anderen Funktionen (z.B.: VMS), durch die Integration mehrerer Hauptfunktionen (siehe nächstes Ziel) in einen Rechner kann aktuell noch nicht beziffert werden.
 - 8% Reduktion bedeutet ein Zielgewicht von etwa 12kg für alle 4 Kanäle zusammen.
 - Das tatsächlich erzielte Gewicht wurde wie folgt gemessen:
 - RCM-FC: 2,06kg
 - eFCC: 2,90kg
 - Das Gesamtgewicht des Systems, bestehend aus 3 eFCC und 1 RCM-FC, ergibt sich damit zu 10,76kg. Damit konnte eine Gewichtsreduktion von ca. 17% realisiert und somit das Ziel von 8% Reduktion erreicht werden.
- Mindestens eine Verdopplung der Anzahl der Hauptfunktionen, die auf den Flugsteuerungsrechnern beheimatet werden können. Heutige Fly-By-Wire / Fly-By-Light Rechner erfüllen lediglich die Funktion der “elektrischen Steuerstange”. Für den oben erwähnten ACT/FHS trifft dies ebenfalls zu. Ziel ist es, mindestens zwei Hauptfunktionen (elektrische Steuerstange und Flugregelung) dank der IMA Technologie in einem Rechner unterzubringen. Optional wird angestrebt, eine dritte Hauptfunktion (VMS) mit zu integrieren.
 - Mindestens 2 Hauptfunktionen sollen integriert werden (aktuell kann max. eine Hauptfunktion in einem Flugsteuerungsrechner untergebracht werden).
 - Im Rahmen des AMI-HORATIO Projektes wurden über die gesamte Entwicklungskette 3 Hauptfunktionen in die Flugsteuerungsrechnern eingebettet. Diese sind die Hauptpartition für die Grundlegende Flugregelung, die VMS Partition, sowie die Autoflight Control Partition (AFCP), die ergänzende Funktionen beinhaltet. Somit wurde dieses Ziel erfüllt.

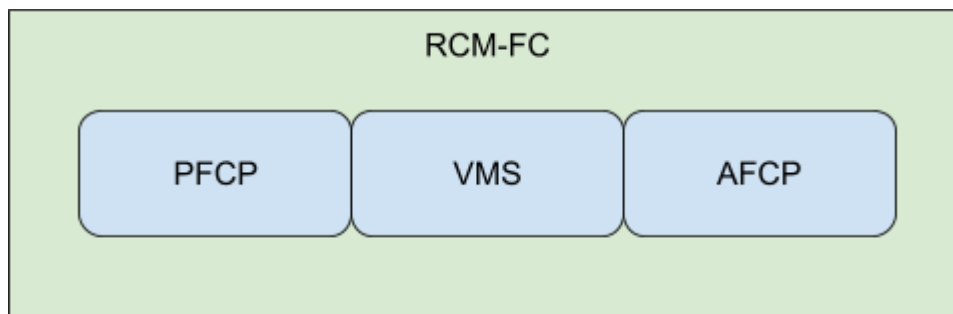


Abbildung 3: Einbettung Hauptfunktionen RCM-FC

- 20% Arbeitszeiterparnis bei der Nutzung von automatischen Tests auf Gesamtsystemebene gegenüber manueller Ausführung der Tests. Am “Vehicle Zero“ Teststand werden eine repräsentative Anzahl an Tests sowohl manuell, als auch vollautomatisch durchgeführt. Die Fähigkeit, automatisierte Tests auf dieser Flugsteuerungsplattform durchführen zu können, wird in AMI-HORATIO geschaffen. Bisher sind automatische Tests auf Teilsystemebene stark verbreitet, aber noch nicht auf Gesamtsystemebene wie einem “Vehicle Zero“ Teststand mit geschlossenem Loop inkl. Flugmechanik.
 - Ziel ist, bei Testdurchführung 20% der Testzeit zu sparen.
 - Zur Verifikation der Sensorschnittstellen des RCM-FC und des eFCC umfasst die Testabdeckung schätzungsweise 300.000 Testschritte. Diese Testschritte können nach jedem iterativen Entwicklungsschritt der Flugsteuerung Software ausgeführt werden. Diese Tests müssten ansonsten manuell ausgeführt werden. Die Arbeitszeiterparnis kann hier bei 20% gesehen werden.
 - Zur Verifikation der FCS-Software auf Systemebene wurden ebenfalls automatisierte Tests durchgeführt. Anders als bei den Sensorschnittstellen-Tests werden bei den Pilotierungstests Inputeingaben durch den Joystick und den Autopilotenpanel für die Analyse der Flugparameter im Flug genutzt. Während der Testsequenzen wird das System kontinuierlich überwacht und die korrekte Aktivierung der Flugregelung und der Flugsteuerungsmodi überprüft. Darüber hinaus wird auch der korrekte Abflug einer Trajektorie automatisch kontrolliert. Abbildung 4 zeigt eine entsprechende Testsequenz. Diese Tests sind sehr zeitintensiv, können aber durch die Automatisierung nachts durchgeführt werden, wenn normalerweise keine manuelle Tests durchgeführt werden können. Dies ermöglicht somit eine Arbeitszeiterparnis von 20%.

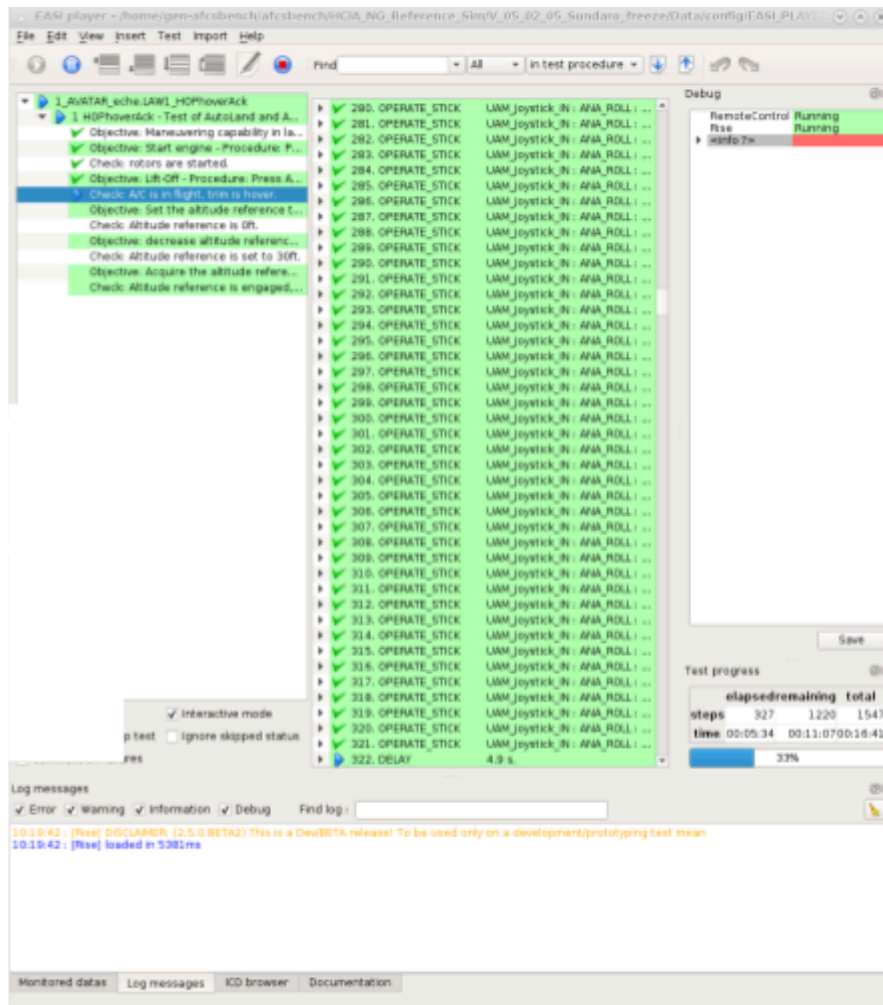


Abbildung 4: Testsequenz in Testool

Ziel - Attraktiv:

- Die Planung entspricht einer Top-down-Planung (Konzept, Anforderungen, Design, Verifikation).
- In jedem Jahr gibt es einzelne Meilensteine, die messbar sind und den Erfolg absichern wie z.B. Lieferung der Simulation und der DAL A RCM-FC.
- Der Verbund erfährt Unterstützung durch die europäische Kooperation von französischen und deutschen Luftfahrtunternehmen.
 - Diese Ziele wurden über die Projektstruktur und Projektplanung implementiert, umgesetzt und somit erfüllt.

Ziel - Realistisch:

- Die einzelnen Partner bringen ihr spezifisches Expertenwissen in den Verbund ein:
 - AUM: Gesamtsystemarchitektur Fly-by-Wire Flugsteuerung, eVTOL Vehikelkonzept, Betriebskonzept und Einbindung in UAM Gesamtsystem
 - DAS: Generische IMA Plattform, Systeme, Architektur und Zulassung
 - USTUTT: Erfahrung in Passagierkomfortbewertung aus LuFo V Projekt CORINNE
- Jeder Partner hat bereits in seinen Themengebieten in anderen F+E Vorhaben erfolgreich zusammengearbeitet.
 - Diese Ziele wurden über die Projektplanung realisiert und umgesetzt.

Ziel - Terminiert:

- Im Balkenplan sind entsprechende Meilensteine für die einzelnen Arbeiten hinterlegt, an denen sich der Verbund orientieren wird und gegebenenfalls gegensteuern kann.
 - Dieses Ziel wurde über die Projektplanung realisiert und umgesetzt.
- Der Verbundführer wird zusammen mit den Partnern regelmäßige Besprechungen durchführen, um den Plan entsprechend umzusetzen.
 - Diese Ziele wurden über die Projektplanung realisiert und umgesetzt.
- Die DAL A RCM-FC Technologie soll im Projekt bis zum Permit-to-Fly Nachweis verfolgt werden.
 - Durch die Anwendung des Entwicklungsprozesses für sicherheitskritischer Flugsteuerungssoftware bei AHD/AHF sowie der Bereitstellung aller für den Permit-to-Fly Nachweis notwendiger Dokumente durch die Fa. DAS ist das Ziel erreicht worden.

II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der geplante Umfang an Aktivitäten im Vorhaben konnte vollständig bearbeitet werden. Geplante Beiträge wurden innerhalb des Bewilligungszeitraums und im vorgegebenen Kostenrahmen erbracht. Die wichtigsten Kostenpositionen waren die Personalkosten von Airbus Urban Mobility und der Unterauftrag an Airbus Helicopters. Detaillierte Angaben zu den entstandenen Kosten können dem zahlenmäßigen Nachweis entnommen werden.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten

Die geleistete Arbeiten waren notwendig für die Zielerreichung der im Vorhaben beschriebenen Ergebnisse. Insgesamt wurden 107,1 % der geplanten Kosten für das Vorhaben benötigt (siehe zahlenmäßigen Verwendungsnachweis).

II.4 Voraussichtlicher Nutzen insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses

Das Projekt AMI-HORATIO hat maßgeblich dazu beigetragen, geeignete Konzepte – aber auch Methoden und Verfahren zur Auslegung und Entwicklung – einer Fly-By-Wire Systemarchitektur zu entwickeln. Diese können als Grundlage für ein bemanntes eVTOL Konzept mit vollelektrischer verteilter Auftriebserzeugung angewandt werden.

II.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts bei anderen Stellen

eVTOL spezifisch: Da derzeit noch keine kommerziellen Fluggeräte gemäß EASA SC-VTOL zugelassen sind, ist es schwierig, einen belastbaren Stand der Technik in diesem speziellen hochdynamischen Marktumfeld darzustellen. Die entsprechenden Firmen lieferten im Projektzeitraum auch noch keine belastbaren technischen Veröffentlichungen wie beispielsweise Konferenzbeiträge oder Artikel in Fachzeitschriften.

Die Vertical Flight Society listet auf ihrer Webseite www.evtol.news aktuell über 1100 eVTOL Projekte, von ersten Konzeptstudien bis hin zu bereits langjährig - meist unbemannt - fliegenden Demonstratoren. Die Informationen dafür sind weitestgehend aus Marketingmaterial der entsprechenden Hersteller zusammengestellt.

Nach derzeitigem Kenntnisstand erfüllt kein Mitbewerber die strengen Sicherheitsauflagen, die für kommerziellen Passagiertransport, d.h. eine Zertifizierung gemäß EASA SC-VTOL nötig sind. Schlüsselanforderungen sind hier unter anderem Sicherheit und Komfort für die Passagiere, und insbesondere die Ausfallsicherheit der Antriebseinheiten, redundante Lastpfade sowie das Verhalten der Batterie im Crash- und Brandfall.

II.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Es wurden keine Inhalte veröffentlicht und es sind keine Veröffentlichungen geplant.