DIEHL Aerospace

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

	Dok. Nr./Pub. No.	FKZ-20V1909B_RPAS23-CP_Schlussbericht	
	Ausgabe/Issue	000_01	
	Seite/Page	1/27	
	Datei/File Name	FKZ20V1909B_LuFoVI-I-RPAS23-CP_Schlussbericht-TIB.docx	

Schlussbericht

RPAS23-CP

Teilvorhaben
"Hardware and RPAS Power Distribution (WARPED)"

FKZ: 20V1909B

Nationales Luftfahrtforschungsprogramm VI-I

01.06.2021 – 31.05.2025

© Copyright by Diehl Aerospace GmbH
Dieses Dokument ist Eigentum der Diehl Aerospace GmbH. Eine Nutzung des Dokuments ist nur in unveränderter Form und unter Nennung der Diehl Aerospace GmbH statthaft.
This document is property of Diehl Aerospace GmbH. Use of this document is only permitted without changes and with referencing Diehl Aerospace GmbH.

SUPPLIER ADDRESS AND CODE

Headquarters:
Diehl Aerospace GmbH
Alte Nußdorfer Straße 23
88662 Überlingen

Site Frankfurt:
Diehl Aerospace GmbH
An der Sandelmühle 13
60439 Frankfurt
FSCM-Code: D2439

Site Überlingen:
Diehl Aerospace GmbH
Alte Nußdorfer Straße 23
88662 Überlingen
FSCM-Code: D4829

Site Nürnberg:
Diehl Aerospace GmbH
Donaustrasse 120
D-90451 Nürnberg
FSCM-Code: D1347

© Copyright by Diehl Aerospace GmbH
Dieses Dokument ist Eigentum der Diehl Aerospace GmbH. Eine Nutzung des Dokuments ist nur in unveränderter Form und unter Nennung der Diehl Aerospace GmbH statthaft.
This document is property of Diehl Aerospace GmbH. Use of this document is only permitted without changes and with referencing Diehl Aerospace GmbH.

REVISIONSVERZEICHNIS		
Version	Datum	Beschreibung
001_01	03.11.2025	1. Entwurf erstellt
000_01	26.11.2025	Finale Version

© Copyright by Diehl Aerospace GmbH
Dieses Dokument ist Eigentum der Diehl Aerospace GmbH. Eine Nutzung des Dokuments ist nur in unveränderter Form und unter Nennung der Diehl Aerospace GmbH statthaft.
This document is property of Diehl Aerospace GmbH. Use of this document is only permitted without changes and with referencing Diehl Aerospace GmbH.

INHALTSVERZEICHNIS

Absatz Titel Seite

EINLEITUNG **9**

1 ÜBERBLICK **10**

1.1 Aufgabenstellung **10**

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde **10**

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens **11**

1.3.1 Planung der Meilensteine mit Beteiligung der Diehl Aerospace GmbH 12

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand **12**

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen **13**

1.5.1 Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern 13

1.5.2 Zusammenarbeit mit den Unterauftragnehmern 13

2 AUSFÜHRLICHE DARSTELLUNG **14**

2.1 Ergebnisse des Vorhabens **14**

2.1.1 Arbeitspakete 14

2.1.1.1 Arbeitspaket 1.1 Concept of Operations 14

2.1.1.2 Arbeitspaket 1.3 RCP (RPAS Control Platform) 17

2.1.1.3 Arbeitspaket 2.1 Konzeption der RCP 19

2.1.1.4 Arbeitspaket 2.2 Konzeption/Entwurf der RCPA-Hardware 20

2.1.1.5 Arbeitspaket 2.3 Konzeption/Entwurf von VM-Funktionen 23

2.1.1.6 Arbeitspaket 2.5: Konzeption/Entwurf der RCPG (Bodenstation) 24

2.1.1.7 Arbeitspaket 3.2: Erstellen/Validieren des RCP-Validators 25

2.1.1.8 Arbeitspaket 3.3 Flug-Validation von RPAS/RCP 26

2.1.2 Verwendete Fachliteratur / Referenzen 27

2.2 Voraussichtliche Nutzung der Ergebnisse **27**

2.3 Veröffentlichung der Ergebnisse **27**

© Copyright by Diehl Aerospace GmbH
Dieses Dokument ist Eigentum der Diehl Aerospace GmbH. Eine Nutzung des Dokuments ist nur in unveränderter Form und unter Nennung der Diehl Aerospace GmbH statthaft.
This document is property of Diehl Aerospace GmbH. Use of this document is only permitted without changes and with referencing Diehl Aerospace GmbH.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Nr. Titel Seite

Abbildung 1 IDU-15 Displayeinheiten (Thales) 18
Abbildung 2 Laboraufbau 23
Abbildung 3 PFD und ND Ansicht der Displayapplikation 25

© Copyright by Diehl Aerospace GmbH
Dieses Dokument ist Eigentum der Diehl Aerospace GmbH. Eine Nutzung des Dokuments ist nur in unveränderter Form und unter Nennung der Diehl Aerospace GmbH statthaft.
This document is property of Diehl Aerospace GmbH. Use of this document is only permitted without changes and with referencing Diehl Aerospace GmbH.

TABELLENVERZEICHNIS

Nr. Titel Seite

Tabelle 1: Meilensteinplanung 12

© Copyright by Diehl Aerospace GmbH
Dieses Dokument ist Eigentum der Diehl Aerospace GmbH. Eine Nutzung des Dokuments ist nur in unveränderter Form und unter Nennung der Diehl Aerospace GmbH statthaft.
This document is property of Diehl Aerospace GmbH. Use of this document is only permitted without changes and with referencing Diehl Aerospace GmbH.

ABKÜRZUNGEN

BMWK	Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz
A/C	Aircraft
AP	Arbeitspaket
ARC	Air Risk Class
AT	Aviotech GmbH
ConOps	Concept of Operations
CPM	Core Processing Module
CS	Certification Specification
DAs	Diehl Aerospace GmbH
EASA	European Aviation Safety Agency
EU	Europäische Union
EWIS	Electrical Wiring Interconnection System
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
GRC	Ground Risk Class
HIRF	High Intensity Radiated Fields
HW	Hardware
IDU	Integrated Display Unit
IF	Interface
ILS	Institut für Luftfahrtsysteme
IMA	Integrated Modular Avionik
IOM	Input-Output Module
JARUS	Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems
LFZ	Luftfahrzeug
MiniMRP	Mini Modular Rack Principle
ND	Navigation Display
OSO	Operational Safety Objectives
PCB	Printed Circuit Board
PCIOB	Power Control Input-Output Board
PDM	Power Distribution Module
PFD	Primary Flight Display
QTM	Qualification Test Matrix
QTP	Qualification Test Procedure
RCP	Remote Control Platform
RCPA	Remote Control Platform Aerial
RCPG	Remote Control Platform Ground
RPAS	Remotely Piloted Aircraft/Aerial System
SAIL	Specific Assurance and Integrity Level
SC	Special Condition
SORA	Specific Operations Risk Assessment
SPI	Serial Peripheral Interface
SSPC	Solid-State Power Control

© Copyright by Diehl Aerospace GmbH
Dieses Dokument ist Eigentum der Diehl Aerospace GmbH. Eine Nutzung des Dokuments ist nur in unveränderter Form und unter Nennung der Diehl Aerospace GmbH statthaft.
This document is property of Diehl Aerospace GmbH. Use of this document is only permitted without changes and with referencing Diehl Aerospace GmbH.

sUAS	Small Unmanned Aerial System
SWAP-C	Size, Weight, Power and Costs
TP	Teilprojekt
TSO	Technical Standard Order
UAS	Unmanned Aerial System
VLOS	Visual Line of Sight
VM	Vehicle Management
WBS	Work package brake down structure
ZG	Zuwendungsgeber

© Copyright by Diehl Aerospace GmbH
Dieses Dokument ist Eigentum der Diehl Aerospace GmbH. Eine Nutzung des Dokuments ist nur in unveränderter Form und unter Nennung der Diehl Aerospace GmbH statthaft.
This document is property of Diehl Aerospace GmbH. Use of this document is only permitted without changes and with referencing Diehl Aerospace GmbH.

EINLEITUNG

Zuwendungsempfänger:	Diehl Aerospace GmbH
Förderkennzeichen:	20V1909B
Laufzeit des Teilprojekts:	01.06.2021 – 31.05.2025
Berichterstatter:	Dr. Ursula Hoffmann, Dr.-Ing. Peter Müller, Ralph Wirth

Der vorliegende Abschlussbericht beschreibt die Forschungsarbeiten der Diehl Aerospace GmbH (DAS) im Rahmen des Nationalen Luftfahrtforschungsprogramms LuFo VI-1 RPAS23-CP mit dem Teilvorhaben “Hardware and RPAS Power Distribution (WARPED)“

Das diesem Schlussbericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) unter dem Förderkennzeichen 20V1909B gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Berichterstatter. Die Form des Berichtes entspricht den Nebenbestimmungen auf Kostenbasis des Bundesministeriums für Bildung und Forschung an Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (NKBF98, §8 Stand April 2006).

Da der Schlussbericht des Vorhabens veröffentlicht wird, sind hier einige Passagen und Bilder weggelassen worden, die von der Diehl Aerospace als vertraulich eingestuft wurden.
Diese Passagen sind in der Anlage zum Erfolgskontrollbericht aufgeführt und der Bericht dient als Zusatz zum Erfolgskontrollbericht.

© Copyright by Diehl Aerospace GmbH
Dieses Dokument ist Eigentum der Diehl Aerospace GmbH. Eine Nutzung des Dokuments ist nur in unveränderter Form und unter Nennung der Diehl Aerospace GmbH statthaft.
This document is property of Diehl Aerospace GmbH. Use of this document is only permitted without changes and with referencing Diehl Aerospace GmbH.

1 ÜBERBLICK

1.1 Aufgabenstellung

Die Diehl Aerospace (DAS) brachte ihre Expertise im Bereich der Rechnerplattformen in den Verbund RPAS23-CP ein und hat die Implikationen auf zukünftige Avionikplattformen, die sich aus den Anforderungen des autonomen kommerziellen Fliegens ergeben, gemeinsam mit den Verbundpartnern erarbeitet.

Dies umfasste im Detail:

- Exemplarische Konzeptionierung und Realisierung eines Power Distribution Models (PDM) basierend auf einem bereits existierenden Input-Output Module (IOM) der Aviotech GmbH.
- Dazu gehörte auch die Unterstützung hinsichtlich luftfahrtkonformer Validation, Verifikation und Qualifikation.
- Konzeptionierung der Hardwaremodule der RCPA hinsichtlich der Anforderungen bezüglich Size, Weight and Power and Costs (SWaP-C).

Das Projekt RPAS23-CP ermöglichte es der DAS, Kompetenzen im Bereich UAS aufzubauen, innovative, skalierbare und hochintegrierte Lösungen für den CS-23 Markt in Partnerschaft und als Gesamtsystemanbieter bereitstellen zu können sowie die Technologie als Teillösung für den CS-25 Markt nutzbar zu machen.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Für autonom fliegende Luftfahrzeuge der Klasse CS-23 sieht Diehl Aerospace (DAS) steigenden Bedarf. Aufgaben wie Beobachtung (Verkehr, Grenzen, Natur, Umwelt), Transport von Gütern und Kommunikation sind Beispiele zukünftiger Märkte.

Technisch ist eine optimierte, hoch integrierte und alle Anforderungen erfüllende, skalierbare und modulare Avionik Plattform eine der Voraussetzungen, um einen konkurrenzfähigen Lösungsansatz zu verfolgen.

Diehl Aerospace sieht mehrere Markttrends, die die Relevanz der Inhalte des RPAS23-CP Vorhabens bestätigen:

- Steigender Bedarf an Lufttransportkonzepten im Bereich Zubringerdienste von kleinen zu großen Flughäfen sowie Güter- und Frachttransportkonzepte mit daran gebundenen steigenden und daraus resultierend zunehmend unrealistischem Bedarf an ausgebildeten Piloten. Hier stellen Konzepte von unbemannten Systemen Lösungsalternativen dar.
- Steigender Bedarf im Bereich Beobachtungsmissionen von Grenzen, Verkehr, Umwelt und/oder Infrastruktureinrichtungen. Einsatzzeiten, -höhen und -intervalle stellen Anforderungen prädestiniert für unbemannte Systeme dar.
- Trend hin zum Bereich elektrisches Fliegen. More Electric Aircraft (MEA), bzw. All Electric Aircraft (AEA) bedingen neuartige Systemkonzepte und –strukturen, insbesondere im Bereich elektrische Energieverteilung und -versorgung. Hier scheint es realistisch zu sein, den Forschungsstartpunkt im Bereich CS-23 zu setzen, aber ein Transfer zu kleineren CS-25 Flugzeugen wird bereits diskutiert.

© Copyright by Diehl Aerospace GmbH
Dieses Dokument ist Eigentum der Diehl Aerospace GmbH. Eine Nutzung des Dokuments ist nur in unveränderter Form und unter Nennung der Diehl Aerospace GmbH statthaft.
This document is property of Diehl Aerospace GmbH. Use of this document is only permitted without changes and with referencing Diehl Aerospace GmbH.

- Trend weg vom 2 Mann Cockpit zum 1 Mann Cockpit und „Kein Mann“ Cockpit ggf. erstmals für Frachtmaschinen. Dieser Markttrend hat sich leider nicht bewahrheitet, da nach Projektabschluss bekannt wurde, dass der Zeithorizont bzgl. Single-Pilot-Operations durch die EASA sich signifikant verzögert. Dies war zum Zeitpunkt der Antragsstellung noch nicht ersichtlich.

Diese Trends in Summe zeigen, dass der Markt massiv Lösungen im Bereich unbemannter Systeme sucht. Die Zulassungsklasse CS-23 stellt hierfür einen idealen Einstiegspunkt und ein Markteinführungsszenario für den kommerziellen Einsatz ziviler, zugelassener, unbemannter Systeme dar. Dies wird unterstützt durch das Momentum auf europäischer und nationaler Ebene hinsichtlich Erstellung des regulatorischen Zulassungsrahmens für die mittelfristige Zulassbarkeit derartig komplexer unbemannter Systeme.

Die DAS kooperiert seit Jahren mit dem ILS und der Aviotech im Bereich der generischen und sicherheitskritischen Plattformen von der Grundlagenforschung hin zu anwendungs- und industrienahen Umsetzungen. Das Vorhaben stellt einen konsequenten Schritt in der Zusammenarbeit dar hinsichtlich einer Erweiterung der Technologie auf den UAS-Sektor.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Diehl Aerospace brachte in RPAS23-CP ihre Expertise im Bereich der Rechnerplattformen ein.

Dies umfasste im Detail die exemplarische Konzeptionierung und Realisierung eines Power Distribution Models (PDM) für die Avionikplattform.

Weiterhin unterstützte die DAs das Gesamtvorhaben hinsichtlich der Anforderungssynthese der Remote Control Platform (RCP), bez. Architektur sowie der Qualifikations- und Zulassungsstrategie. Insbesondere der Aspekt der in das Gesamtsystem integrierten Energieverteilung stand hierbei im Fokus und wurde maßgeblich von der DAS unterstützt. Dazu gehörte auch die Unterstützung hinsichtlich luftfahrtkonformer Validation, Verifikation und Qualifikation.

Ein weiterer Fokus lag in der Konzeptionierung der Hardwaremodule der RCPA hinsichtlich der Anforderungen bezüglich Size, Weight and Power and Costs (SWaP-C).

Die DAS unterstützte während des gesamten Entwicklungsprozesses, von der ConOps-Definition, über die Realisierung des PDMs, sowie bei der Unterstützung der Analyse des gesamten Hardwarekonzeptes hinsichtlich Umweltanforderungen und der Verifikation, bis hin zur Unterstützung der Integration und der Erlangung des „Permit-to-Flight“ (PtF).

Die Arbeiten konnten in dem geplanten Zeitraum in Abstimmung mit den Verbundpartnern und dem Projektträger durchgeführt werden.

© Copyright by Diehl Aerospace GmbH
Dieses Dokument ist Eigentum der Diehl Aerospace GmbH. Eine Nutzung des Dokuments ist nur in unveränderter Form und unter Nennung der Diehl Aerospace GmbH statthaft.
This document is property of Diehl Aerospace GmbH. Use of this document is only permitted without changes and with referencing Diehl Aerospace GmbH.

1.3.1 Planung der Meilensteine mit Beteiligung der Diehl Aerospace GmbH

Nr.	Meilensteinbezeichnung
MS1	Spezifikationen (V1)
MS2	RCP Systemkonzept
MS3a	CPM, IOM (V1)
MS3c	PDM (V1)
MS3d	Nachweise (V1) erbracht
MS4a	VM-Funktionen (V-E1) entwickelt
MS4b	VM-Funktionen (V-E2) entwickelt
MS4c	E-Power-Distribution-System (V1) entwickelt
MS7a	RCP (V-E1) erstellt
MS7b	RCP (V-E2) erstellt
MS9a	Beginn der Flug-Evaluierung (bemannt)/Erstflug E1
MS9b	Beginn der Flug-Evaluierung (unbemannt)/Erstflug E2

Tabelle 1: Meilensteinplanung

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Zivile, kommerziell nutzbare und zugelassene UAS stellen heutzutage ein Novum dar, sowohl national als auch international. Besonders der Aspekt der Zulassbarkeit (Kategorie: „Certified“) ist von besonderer Bedeutung, da hiermit die entsprechenden Nutzlasten und Einsatzprofile einhergehen, die für eine zivile kommerzielle Nutzung, sei es im Personentransport oder im Air Cargo Bereich, besonders von Bedeutung sind.

Insbesondere die Basistechnologie, die skalierbare, hoch integrierte und modulare Avionikplattform stellt eine Schlüsselinnovation dar, kostengünstig und aufwandsoptimiert konkurrenzfähige Lösungsansätze für UAS bereitzustellen. Als positiver Nebeneffekt ergibt sich die Übertragbarkeit auf den allgemeinen CS-23 Markt für allgemeine Unterstützungssysteme, vgl. konventionelle Autopilotenfunktionalität.

Die IMA im Bereich CS-25 stellt bereits heute eine generische Rechnerplattform dar. Der CS-23 Markt erfordert allerdings wesentlich höhere Anforderungen bezüglich SWaP-C. Dies bedingt hochintegrierte Funktionen in kleineren Bauräumen. Zugleich stellen auch UAS inkl. Flugsteuerung hohe Anforderungen an die Verfügbarkeit und Integrität der beteiligten Systeme und Systemelementen. Das führt zum Hauptziel der DAS in diesem Teilvorhaben, der Konzeptionierung und Realisierung des PDM (Power

© Copyright by Diehl Aerospace GmbH
Dieses Dokument ist Eigentum der Diehl Aerospace GmbH. Eine Nutzung des Dokuments ist nur in unveränderter Form und unter Nennung der Diehl Aerospace GmbH statthaft.
This document is property of Diehl Aerospace GmbH. Use of this document is only permitted without changes and with referencing Diehl Aerospace GmbH.

Distribution Modul). Das PDM stellt hierbei einen essenziellen Kernbestandteil der generischen Kern-Avionikplattform dar und wird auf einem bereits bestehenden IOM basieren. Die Auslegung des Energieverteilungssystems sowie der Umweltanforderungen bedingen eine neue Leistungsschalterkarte, die kompatibel zur bestehenden Software und den Automatisierungstools im Entwicklungsbereich des Projektpartners Aviotech sein muss.

In bisherigen LuFo Projekten wurden Strukturen für sicherheitskritische Anwendungen auf der CS-25 IMA untersucht und u.a. am Beispiel High Lift nachgewiesen. Ähnliche Strukturen sind für CS-23 zu definieren und dabei wesentlich höher zu integrieren.

Dabei soll die Hardware durch Verwendung hochintegrierter Elektronik in der Baugröße so reduziert werden, dass es mindestens für CS-23 Flugzeuge tauglich ist. Die implementierten Funktionen sollen alle benötigten Prozeduren inkl. Notfall-Prozeduren eines RPAS in den Lufträume A…G (IFR) abdecken. Die Skalierbarkeit und das Baukastenprinzip sind Garanten dafür, die entstandene Avionikplattform auch an Luftfahrzeuge aus anderen Domänen und unterschiedlichen Einsatzprofilen anpassen zu können.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

1.5.1 Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern

Im Rahmen von Verbundmeetings wurden die Arbeiten mit den Partnern organisiert und die entsprechenden Jahresaktivitäten koordiniert.

Für die Integration erfolgte eine intensive Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern.

1.5.2 Zusammenarbeit mit den Unterauftragnehmern

Im Rahmen eines Unterauftrages wurde die Firma Demke Electronic beauftragt, den Leistungsanteil der PCIOBs basierend auf den Vorgaben der DAS zu entwickeln. Zusätzlich verantwortete die Firma die Verifikation des Leistungsanteil in der Verifikation der PCIOBs.

Im Rahmen der Projektlaufzeit erweiterten sich die Arbeitsumfänge der DAS auf den Aspekt der Bodenkontrollstation (RCPG). Dies umfasste die Beschaffung von qualifizierbaren Displayeinheiten als auch die Entwicklung der dazugehörigen Displayapplikationen inkl. der Integration in die bestehende Bodenkontrollstation. Für die beiden letzten Punkte wurde ein Unterauftrag an die Firma Aviotech GmbH vergeben, die basierend auf den Projektanforderungen eine entsprechende Displayapplikation entwickelten und ein entsprechendes Integrationskonzept ausarbeiteten. Dieses Konzept umfasste im Wesentlichen die Erstellung der Konfigurationsdateien für die Displayeinheiten sowie die Definition der ICDs zur mechanisch/elektrischen Anbindung an die RCPG.

© Copyright by Diehl Aerospace GmbH
Dieses Dokument ist Eigentum der Diehl Aerospace GmbH. Eine Nutzung des Dokuments ist nur in unveränderter Form und unter Nennung der Diehl Aerospace GmbH statthaft.
This document is property of Diehl Aerospace GmbH. Use of this document is only permitted without changes and with referencing Diehl Aerospace GmbH.

2 AUSFÜHRLICHE DARSTELLUNG

2.1 Ergebnisse des Vorhabens

2.1.1 Arbeitspakete

2.1.1.1 Arbeitspaket 1.1 Concept of Operations

Ziel des Arbeitspaketes war die Definition des Concept of Operations (ConOps), sprich der operativen Verwendung des Luftfahrzeugs (LFZ) mittels Missionsprofilen, welches auch das Spektrum der Lufträume A bis G unter IFR-Bedingungen mit abbilden soll. Im Fokus der DAS stand hierbei primär die Definition der Zulassungsbasis als auch die Definition der Umweltanforderungen an derartige „Unmanned Aerial Systems“ (UAS).

Ein Ergebnis bei der Definition der Zulassungsbasis war hierbei die Erkenntnis, dass die EASA momentan jede UAS-Entwicklung individuell betrachtet. Dies ist darin begründet, dass es im Bereich der UAS noch keine vollumfänglichen und ganzheitlichen Regularien und „Guideline“-Dokumente gibt. Gemäß Definition der EASA ist ein UAS als Gesamtsystem definiert, also als System bestehend aus den fliegenden Komponenten sowie Unterstützungselementen wie Bodenstationen oder Start- und Landevorrichtungen.

EASA (European Aviation Safety Agency) UAS Policy E.Y013-01 (August 2009)
“A UAS comprises individual system elements consisting of an “unmanned aircraft”, the “control station” and any other system elements necessary to enable flight, i.e. “command and control link” and “launch and recovery elements”.

Eine weitere Erkenntnis ist begründet durch den von der EASA propagierten „risk-based approach“. Dieser bedingt, dass eine getrennte Betrachtung zwischen LFZ und dem operationellen Betrieb durch die Neuartigkeit und Variabilität von UAS nicht mehr gegeben ist und nur in Verbindung betrachtet werden kann.

Im Hinblick für eine erfolgreiche Zulassung müssen hierbei folgende Aspekte mitberücksichtigt werden:

1. Airworthiness Aspekte, also der Gewährleistung eines herstellergetriebenen sicheren und zuverlässigen Designs
2. Operationelle Aspekte, also dem nutzergetriebenen sicheren Betrieb des Systems

Mittels der „EU Basic Regulation 2018/1139“ wurden hierzu die rechtlichen Grundlagen geschaffen. Sie beinhalten den Wegfall der Beschränkungen von UAS über 150kg und die Anforderung, dass der Einsatz von UAS einem „proportionate risk based“ Ansatz genügen soll. Im Detail wird dieser Rechtsrahmen durch die EU-Verordnungen 2019/945 und 2019/947 weiter verfeinert, in dem hierzu im Rahmen für UAS drei Klassen definiert wurden:

- „Open“
  Diese Klasse ist im Wesentlichen charakterisiert durch Festlegung des maximalen Abfluggewichts kleiner 25kg. Ferner gibt es hohe operationelle Einschränkungen, wie des

© Copyright by Diehl Aerospace GmbH
Dieses Dokument ist Eigentum der Diehl Aerospace GmbH. Eine Nutzung des Dokuments ist nur in unveränderter Form und unter Nennung der Diehl Aerospace GmbH statthaft.
This document is property of Diehl Aerospace GmbH. Use of this document is only permitted without changes and with referencing Diehl Aerospace GmbH.

Verbots des Einsatzes über Menschenmengen, dem Betrieb nur im VLOS-Bereich, der maximalen Operationshöhe von 120m und dem Verbot des Transports von gefährlichen Gütern (z.B. Explosivstoffe, chemische Gefahrenstoffe, etc.) bzw. dem Abwurf von Gütern. Diese Klasse fokussiert sich auf den sUAS-Bereich und Consumer-Drohnen.

- „Specific“
  Diese Klasse verfügt über keine Gewichtsbeschränkung. Sie unterscheidet sich von der „Certified“ Klasse aber durch einen vereinfachten Zulassungsprozess auf Kosten einer klar definierten Menge an genehmigungspflichtigen und risikoarmen Missionsprofilen. Der Nachweis der risikoarmen Missionsprofile erfolgt über die „Specific Operatipnsal Risk Assessment“ (SORA)-Methodik und bestimmt die Einstufung zwischen der „Specific“ und „Certified“ Klasse.

- „Certified“
  Diese Klasse ist charakterisiert durch die unbeschränkte operationellen Einsatzmöglichkeit des UAS, d.h. dem Einsatz über Menschenmengen, dem Personentransport oder dem Transport gefährlicher Güter. Im Gegensatz zum „Specific“ Bereich sind in dieser Klasse viele Aspekte noch nicht abschließend definiert worden, sodass die Einstufung abhängig der Einschätzung der zuständigen Behörde, sprich der EASA, ist.

Die „Certified“ Klasse ist von der DAS als die Klasse mit dem höchsten kommerziellen Potential identifiziert worden. Da aber aktuell ein verbindlicher Rechtsrahmen, d.h. sowohl eine allgemein gültige Zulassungsbasis als auch eine detaillierte rechtliche Vorgabe, fehlt, wird in diesem Projekt der Ansatz der „Specific“ Klasse verfolgt. Eine SORA-Analyse wurde von Seiten des Verbundpartners AT durchgeführt.

Die DAS hat in diesem Vorhaben wesentliche Kenntnisse dazu aufbauen können. Die einzelnen SORA-Schritte sind dabei:

1. Erstellung des „Concept of Operations Dokuments“
2. Bestimmung der „intrinsic Ground Risk Class (GRC)“
3. Bestimmung der finalen GRC unter Berücksichtigung möglicher Mitigierungen des „Ground Risks“
4. Bestimmung der initialen „Air risk Class (ARC)“
5. Bestimmung der finalen ARC unter Berücksichtigung möglicher Mitigierungen des „Air Risks“
6. Definition der taktische „Performance Mitigation Requirements“ basierend auf dem ARC
7. Bestimmung des „Specific Assurance” und „Integrity Levels“ (SAIL)
8. Identifizierung der operationellen „Safety Objectives“ (OSO)
9. Berücksichtigung von Umgebungs- und Luftraum-Eigenschaften
10. Aufstellen des umfänglichen Sicherheits-Portfolios

Zusätzlich zu diesem definierten Rechtsrahmen existieren drei weitere Aspekte für ein Zulassungsprogramm:

© Copyright by Diehl Aerospace GmbH
Dieses Dokument ist Eigentum der Diehl Aerospace GmbH. Eine Nutzung des Dokuments ist nur in unveränderter Form und unter Nennung der Diehl Aerospace GmbH statthaft.
This document is property of Diehl Aerospace GmbH. Use of this document is only permitted without changes and with referencing Diehl Aerospace GmbH.

- Zuständige Zulassungsbehörde
  Als zuständige Zulassungsbehörde wurde für alle UAS-Belange die EASA in Europa definiert. Es existiert aber die Möglichkeit durch geeignete Maßnahmen, z.B. den Einsatz eines Safety-Piloten, das Programm temporär an lokalen Luftfahrtbehörden zu übergeben. Dies erfolgte in diesem Vorhaben durch das LBA innerhalb der Phase 1.

- Definition der Produktkonfiguration und der operationellen Aspekte
  Diese Definition ist Bestandteil des ConOps Dokuments und wurde im Rahmen dieses Arbeitspaketes vom Projektpartner AT erstellt. Dieses Dokument ist die Grundlage für weitere Zulassungsanforderungen

- Definition der Zulassungsbasis und der technischen Anforderungen

Speziell für den letzten Punkt existiert noch keine etablierte Basis an akzeptierten „Means of Compliance“. Im Vorhaben wurde deshalb eine Übersicht relevanter Dokumente erstellt und entsprechend analysiert.

Die Analyse der Dokumente ergab, dass für die System-, Equipment- und Itemdesigns folgende bisherige Standards für die gewählte Klasse („Certified“) anwendbar sind:

- ED-125 (ARP4761) – Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems and Equipment
- ED-79A – Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems
- ED-12C – Software considerations in airborne systems and equipment certification
- ED-80 – Design Assurance Guidance for Airborne Electronic Hardware

Interessant ist hierbei die Anforderungen bez. „Single Point Failures“. Während die JARUS AMC UAS diese Anforderung enthält (wie die „Proposed SC-RPAS“ der EASA), so fehlt diese Anforderung in der „CS-23 Am. 5“. Dies ist inkonsistent mit der Anforderung EU 2019/947:

„Considering the specific characteristics of UAS operations, they should be as safe as those in manned aviation.“

Da dieser Punkt im Hinblick auf die Anforderung signifikanten Einfluss auf die UAS-Architektur hat, gilt diesem Punkt eine besondere Aufmerksamkeit und kann dementsprechend nur zusammen mit der EASA geklärt werden.

Mit der zunehmenden Entwicklung im Bereich der UAS-Zulassungsregularien wurde das Thema im Projektrahmen entsprechend verfolgt, konnte aber bedingt durch den fehlenden Fortschritt auf Seiten der EASA nicht final geklärt werden.

Im Rahmen des Projektes war ein weiterer Aspekt die Definition der Umweltanforderungen. Im Rahmen des Verbundes wurden zusammen mit dem Partner AT die Umweltanforderungen bzgl. des

© Copyright by Diehl Aerospace GmbH
Dieses Dokument ist Eigentum der Diehl Aerospace GmbH. Eine Nutzung des Dokuments ist nur in unveränderter Form und unter Nennung der Diehl Aerospace GmbH statthaft.
This document is property of Diehl Aerospace GmbH. Use of this document is only permitted without changes and with referencing Diehl Aerospace GmbH.

Versuchsträgers definiert und validiert. Parallel hat die DAS für die anvisierten kommerziell nutzbaren und potenziell variablen UAS LFZ-Konfigurationen ein Dokument zur Ableitung der Umweltanforderungen erstellt.

Des Weiteren erfolgte eine Untersuchung zu den Umweltanforderungen. Die Ergebnisse wurden von der DAS in einem Dokument, den Environmental Objectives, entsprechend festgehalten.

Basierend auf diesem Dokument konnte in enger Abstimmung mit dem Projektpartner Aviotech (AT) ein Umweltanforderungsdokument definiert werden, welches die Grundlage für die Qualifikation der momentanen Equipment-Baseline darstellt. Die entsprechenden Levels wurden in Form einer „*Qualification Test Matrix*“ festgehalten.

2.1.1.2 Arbeitspaket 1.3 RCP (RPAS Control Platform)

Das Ziel dieses Arbeitspakets war die Definition der RCP-Anforderungen. Die DAS war im Rahmen dieses Arbeitspakets im Wesentlichen unterstützend tätig.
Im Fokus hierzu stand der Bereich der Displaylösung für die RCPG. Durch die fehlende etablierte Zulassungsbasis für UAS (siehe AP1.1) ergab sich im Projektverlauf die Situation, dass für das herausfordernde Ziel der Umsetzung einer „Specific Assurance and Integrity Level“ (SAIL)-3&4 Funktion, also eines mittleren Betriebsrisikos, im RPAS23-CP Verbundvorhaben für den vollständig unbemannten Flug ohne Sicherheitspiloten eine Lücke bestand bzgl. einer qualifizierbaren Displaylösung. Diese ist notwendig, da ein UAS stets in der Gesamtheit der Boden- und Luftanteile betrachtet wird.
Diese Displaylösung muss im Mindestumfang die Funktionalität und Anforderungen eines „Primary Flight Displays“ (PDF) als auch eines Navigationsdisplays (ND) abbilden. Diese These wurde durch eine durchgeführte FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) seitens des Projektpartners AT bekräftigt, die insbesondere für den Aspekt des Navigationsdisplays eine qualifizierbare Darstellung der Selbstlokalisationsinformationen erfordert, welche wiederum eine primäre Entscheidungsgrundlage für den Fernpiloten bzgl. der Missionsfortführung oder -abbruch darstellt. Als technische Lösung war hierfür vom Projektpartner Universität Stuttgart (UST) aus eigenen Mitteln ein entsprechendes Display eines Herstellers eines kommerziell verfügbaren CS23 Cockpit Display System eingeplant, da dieses umfangreiche Darstellungsmöglichkeiten bietet. Diese Displaylösung wurde von den Verbundpartnern UST und Aviotech (AT) im Projektverlauf analysiert und bewertet. Bei dieser Analyse des Displaysystems ergab sich, dass, basierend auf den UAS-spezifischen Anforderungen, Änderungen an der bisherigen Displayapplikation notwendig sind. Diese Applikation wurde ursprünglich unter dem Gesichtspunkt einer pilotierten Anwendung im CS-23 Bereich von dem analysierten Hersteller entwickelt. Um die geplante Displaylösung unter den gegebenen Randbedingungen gemäß den Zertifizierungsstandards eines UAS in eine für das Vorhaben notwendige qualifizierte Form zu bringen, wäre zusätzlicher Aufwand und die volle Unterstützung des Herstellers notwendig gewesen. Im Detail ergaben sich folgende technische Schwierigkeiten:

1. Kein Zugriff auf die Displayanwendung, d.h. erforderliche Änderungen sind nicht möglich bzw. innere Logiken, wie z.B. „Moding“, nicht vollständig bekannt und nicht analysierbar, da es sich bei der GARMIN Lösung um eine „Black Box“ handelt.

© Copyright by Diehl Aerospace GmbH
Dieses Dokument ist Eigentum der Diehl Aerospace GmbH. Eine Nutzung des Dokuments ist nur in unveränderter Form und unter Nennung der Diehl Aerospace GmbH statthaft.
This document is property of Diehl Aerospace GmbH. Use of this document is only permitted without changes and with referencing Diehl Aerospace GmbH.

2. Keine Offenlegung des Interfaces des Displays sowohl format- und als auch funktionsmäßig und somit ist die Schnittstelle zur Datenein- und -ausgabe unbekannt.

3. Adaptionen des Interfaces durch Re-Engineering wären zu kostenintensiv und der erforderliche „zertifizierte“ Betrieb des Displays wäre nicht mehr möglich (Verlust der TSO (Technical Standard Order)).

Nach der Identifikation dieser technischen Unwägbarkeiten führte die DAS mithilfe ihrer Expertise eine Analyse möglicher technischer Lösungen durch. Hierzu wurde zuerst ein etabliertes Displaysystem in Form des IWDU, dem Cockpit-Displaysystem aus dem A350-Programm, untersucht. Allerdings ergab sich im Rahmen der Untersuchung, dass für entscheidende Anteile der Software- und Toolseite IP-Rechte eines Dritten vorlagen, sodass diese Lösung verworfen wurde. Als Alternative wurde das IDU-15 Displaysystem der Firma Thales untersucht, welches ein ETSO-Display ist, sowie eine vollständige Entwicklungsumgebung zur Entwicklung eigenständiger Displayapplikationen aufweist. Basierend auf dieser technischen Lösung erfolgten im Nachgang intensive Workshops und Gespräche. Nach der erfolgten Abstimmung wurde ein Aufstockungsantrag gestellt, um die Mehrkosten dieser Projektänderung abdecken zu können. Diese beinhaltete eine Beteiligung der DAS am AP2.5, in dem die technischen Arbeiten folgend stattfanden. Die technischen Arbeiten erfolgten dabei im Rahmen eines Unterauftrages, der von DAS an AT vergeben wurde.

Abbildung 1 IDU-15 Displayeinheiten (Thales)

Ein weiterer Aspekt des Arbeitspaketes war die Unterstützung des Partners AT bei der Selektion des Housings für die Equipment Module. Geplant war hierbei den modularen Standard ARINC 836A MiniMRP zu verwenden. Diese Gehäuse wurden technisch und kommerziell durch die DAS untersucht. Das Ergebnis war, dass diese Gehäuse sehr gut für die projektierte Anwendung aufgrund ihrer modularen Bauweise, ihrer Möglichkeit zum Einzelmodul, als auch zum Rack-Einbau, sowie ihrer sehr guten Eigenschaften bzgl. der Umweltqualifikationsanforderungen geeignet sind. Lediglich der kommerzielle Aspekt ist nachteilig, da die marktverfügbaren Gehäuse von Zulieferern aufgrund ihrer noch geringen Verbreitung und demzufolge Stückzahlen sehr preisintensiv sind.

© Copyright by Diehl Aerospace GmbH
Dieses Dokument ist Eigentum der Diehl Aerospace GmbH. Eine Nutzung des Dokuments ist nur in unveränderter Form und unter Nennung der Diehl Aerospace GmbH statthaft.
This document is property of Diehl Aerospace GmbH. Use of this document is only permitted without changes and with referencing Diehl Aerospace GmbH.

Im Hinblick auf zulassungsrelevante Aspekte war die DAS als Partner für Aviotech unterstützend tätig. Hierzu wurde in einem Workshop unter Miteinbindung der Airworthiness Offices von DAS und von Diehl Aviation die Randbedingungen zur Erlangung einer Design Organization Approval besprochen.

Ein weiterer Aspekt galt der Umweltqualifikation. In diesem Zusammenhang fanden Gespräche hinsichtlich einer optimalen Qualifikationsstrategie statt. Durch die Vielzahl der Equipments (IOM, CPP, SAM) wurden die Optionen untersucht, ob sich Tests zusammenlegen lassen können, indem sie auf Plattformebene und nicht auf Modulebene durchgeführt werden. Diese Strategie hat den Vorteil, dass sowohl Kosten als auch Aufwand eingespart werden könnten, indem die Teststandzeiten und die Anzahl der Tests reduziert werden können. Dagegen sprach die Tatsache, dass die DO-160G im Gedanken einer Equipment-Betrachtung konzipiert wurde. Das Dokument und die erforderlichen Test Objectives mussten dahingehend untersucht werden, ob die Aussagekraft der Ergebnisse erhalten bleibt, wenn sie im Plattformverbund getestet werden. Beispiele sind hier z.B. Temperaturtests, wenn die Equipments zu nahe beieinanderstehen und Wärmebrücken bilden könnten. Dadurch würde sich eine schlechte Performance hinsichtlich der Umweltqualifikation ergeben als bei einem herkömmlichen Test. Das Ergebnis dieser Optimierung floss direkt in die Erstellung des QTPs in AP3.2 ein.

Als letzter Aspekt in diesem Arbeitspaket wurde das Energieverteilungssystem betrachtet. Da die generischen Anforderungen von außen an das PDM und das Energieverteilungssystem im Luftfahrtumfeld nicht generisch bekannt waren, wurde eine Recherche nach gültigen Industriestandards durchgeführt. Hierbei konnten drei Standards identifiziert werden:

- MIL-HDBK-704-1 “GUIDANCE FOR TEST PROCEDURES FOR DEMONSTRATION OF UTILIZATION EQUIPMENT COMPLIANCE TO AIRCRAFT ELECTRICAL POWER CHARACTERISTICS”
- MIL-STD-704F “AIRCRAFT ELECTRIC POWER CHARACTERISTICS”
- ASTM F2639-2018 “Standard Practice for Design, Alteration, and Certification of Aircraft Electrical Wiring Systems”

Diese Standards wurden analysiert und generische Anforderungen an ein elektrisches Energieverteilungssystem abgeleitet. Diese wurden in ein Konzept- und Anforderungsdokument für ein automatisiertes Powersystem für UAS festgehalten.

2.1.1.3 Arbeitspaket 2.1 Konzeption der RCP

Das Ziel dieses Arbeitspakets bestand in der Definition der detaillierten RCP-Anforderungen. Im Kontext hierzu war die DAS in diesem Arbeitspaket im Wesentlichen unterstützend tätig. Der Schwerpunkt hier war, den Partner AT beim Aspekt der luftfahrtgerechten Geräteentwicklung zu unterstützen, insbesondere im Bereich der IO-Interfaces. Im Detail wurden Themen zum Blitzschutz als auch luftfahrtrelevante IO-Schaltungen zur Unterstützung der IOM und des CPP-Designs durchgesprochen aber auch Informationen bezüglich Produktionsanforderungen zur frühzeitigen Berücksichtigung wurden mit AT geteilt. Die Ergebnisse dieser Diskussionen flossen direkt in die Designs von IOM und CPP mit ein.

© Copyright by Diehl Aerospace GmbH
Dieses Dokument ist Eigentum der Diehl Aerospace GmbH. Eine Nutzung des Dokuments ist nur in unveränderter Form und unter Nennung der Diehl Aerospace GmbH statthaft.
This document is property of Diehl Aerospace GmbH. Use of this document is only permitted without changes and with referencing Diehl Aerospace GmbH.

Für den Aspekt der Architekturauslegung wurden mehrere Workshops mit AT durchgeführt, in dem die grundlegenden System- und Flugzeuganforderungen an das Energieverteilungssystem bearbeitet wurden. Diese Aktivitäten umfassten auch Abstimmungen hinsichtlich des Modings und der IO-Interfaces, um die Ergebnisse der DAS kompatibel zur AT-Plattform zu machen.
Als Ergebnis der Architekturauslegung des Energieverteilungssystems ergab sich die Erkenntnis, dass es im CS-23-Segment eine sehr hohe Varianz bzgl. der Energieverteilungssysteme gibt. Beispielsweise wurden hierbei die Energieverteilungssysteme zweier CS-23 Luftfahrzeugen analysiert. Dieses waren das System der Cirrus SR22 als Vertreter eines Single Engine Piston (SEP), wie auch das System der Diamond DA-42 als Vertreter eines Multi Engine Piston (MEP). Zur Schaffung einer generischen Lösung, die in der Lage ist, mit möglichst vielen LFZ-Mustern kompatibel zu sein, muss eine Abstraktionsschicht geschaffen werden. Für diesen Zweck wurde ein Equipment definiert, das „Power Distribution Module“ (PDM), als Versorgungsmodul für das integrierte System von AT. Das PDM hat hierbei folgende zwei zentrale Funktionen:

- Konsolidierung der Bus Bar Feeder & Monitoring
- „Load Switching & Monitoring“

Die Detailanforderungen an das PDM wurden im Konzept- und Anforderungsdokument für ein automatisiertes Powersystem für UAS aus AP1.3 festgehalten.

2.1.1.4 Arbeitspaket 2.2 Konzeption/Entwurf der RCPA-Hardware

Ziel des Arbeitspakets war die Konzeption und Entwicklung der RCPA-Hardware. Hierbei unterstützte die DAS den Partner AT bei der Entwicklung von CPM/CPP und IOM. Diese Unterstützung äußerte sich durch eine enge Kopplung in der Hardwareentwicklung zwischen beiden Partnern in folgenden Punkten:

- Austausch von Designschaltungen für luftfahrtgerechte IO-Interfaces und/oder Schutzschaltungen
- Austausch von Designrichtlinien, z.B. Derating-Regeln für Bauteile
- Austausch von Listen bzgl. luftfahrtgerechter Bauteile
- Durchführung von Industrialisierungsworkshops bzgl. IOM, CPP und SAM
- Abschließendes Review und Kommentierung der Designunterlagen der Equipments durch DAs
- Unterstützung bzgl. der Argumentation zur Qualifizierung komplexer, hochintegrierter Hardwarekomponenten, insbesondere der On-Chip Interoperability

Parallel oblag der DAS die eigenständige Entwicklung des PDMs. Hierzu wurde basierend auf den Anforderungen aus dem Konzept- und Anforderungsdokument aus AP1.3 auf AP2.1 eine Systemarchitektur für das PDM entwickelt.

Im Verlauf des Projektes kristallisierte sich allerdings heraus, dass die ursprünglich geplante Lösung für das PDM mittels IMA-IOM und Leistungsschalterkarte aufgrund der Systemanforderungen keine geeignete Lösung mehr darstellte. Durch die Anforderungen an das PDM durch das elektrische Powersystem war eine neue Geräte- und IO-Architektur notwendig, da die bisherige IMA-IOM-Architektur mit ihren SSPC-Schaltern grundlegend den Performance-Anforderungen nicht genügte und auch im Hinblick auf die kritischen SWaP-C Anforderungen im UAS-Bereich keine sinnvolle Lösung

© Copyright by Diehl Aerospace GmbH
Dieses Dokument ist Eigentum der Diehl Aerospace GmbH. Eine Nutzung des Dokuments ist nur in unveränderter Form und unter Nennung der Diehl Aerospace GmbH statthaft.
This document is property of Diehl Aerospace GmbH. Use of this document is only permitted without changes and with referencing Diehl Aerospace GmbH.

darstellte. Ein primärer Grund war hierbei, dass typische IMA-Leistungsschalter lediglich eine Load Switching & Monitoring Funktion besitzen und für höherliegende Managementfunktionen sich auf andere architekturellen Maßnahmen verlassen, welche in einem UAS aus Gewichts- und Platzgründen nicht möglich sind.
Durch die zusätzlichen Anforderungen an die Leistungsschalter war hierfür eine neue Technologie erforderlich. Es gab hierzu diverse Gespräche mit verschiedenen Zulieferern über die Entwicklung solcher Leistungsschalter. Mit etablierten SSPC-Herstellern konnte allerdings keine Einigung erzielt werden, da entweder die technische Expertise oder aber das Interesse an einer gemeinsamen Forschungsaktivität hierzu nicht gegeben war. Mit dem vielversprechendsten Zulieferer wurden daraufhin die Gespräche intensiviert und eine erste technische Abstimmung durchgeführt. Als zielführend galt hierbei die Leistungsschalterkarte funktionell aufzutrennen in einen Leistungsanteil und in einen digitalen Steuerungsanteil. Die Verantwortung der Ansteuerung und für das Fehlermanagement für die Luftfahrtelektronik lag damit in Kompetenz der DAS. Der Supplier konnte entsprechend seiner Expertise hinsichtlich der Leistungselektronik mit einbringen. Um dieses Vorhaben finanziell abzusichern, wurde hierzu die notwendige ein entsprechender Änderungsantrag auf Mittelumwidmung gestellt. Im Rahmen eines Unterauftrages erstellte der Zulieferer hierzu das PCIOB und übernahm die Designverantwortung für den Leistungselektronikanteil. Der logische Steueranteil wurde von der DAS übernommen, welche ebenso die Gesamtverifikation der PCIOBs durchführte. In der Gesamtarchitektur des PDMs sind sieben Interfaces vorgesehen, welche aus 4 Low-Power Schalter bestehen, die Peripherieeinheiten, wie Sensorik oder andere Module versorgen sollen. Die Versorgung der Aktuatorik soll mit je 3 High-Power Schalter vorgesehen werden. Besonders diese High-Power Schalter zur Ansteuerung der Aktuatorik für die primäre Flugzeugsteuerung stellte eine Herausforderung für das thermische Management dar. Dieses thermische Management war ein weiterer Grund bisherige SSPC-Lösungen aus dem IMA-Bereich für diesen Anwendungsfall nicht verwendet werden konnten.
Zur Steuerung des Unterauftrages wurde von Seiten DAS ein Anforderungsdokument erstellt, welches die gesamtheitlichen Anforderungen an das PCIOB abdeckt. Daraus konnten die Stromlaufpläne vollständig erstellt, eine Konsolidierung der Bill of Materials durchgeführt sowie das PCB-Layout der vollständigen Karte durchgeführt werden. Im Anschluss erfolgte Freigabe für den Fertigungsprozess, der vom Unterauftragnehmer verantwortet wurde. Bereits Ende 2024 lagen erste gefertigte PCIOBs vor. Das PCIOB umfasst die Funktionen Load Switching, BusBar-Konsolidierung und das Monitoring der beiden Funktionen. Dadurch wird es dem PDM ermöglicht, direkt an die Busbars eines Luftfahrzeugs angeschlossen zu werden und sicher verschiedene Lasten anzusteuern und leistungsmäßig zu überwachen. Die Überwachung umfasst im Endzustand u.a. eine Strom- und Spannungskontrolle, eine Überwachung von I^2t, also des Schmelzintegrals, zum Schutz des EWIS wie auch eine Leistungskontrolle. Die Karte wird über SPI gesteuert und besitzt zusätzlich diskrete Eingänge für unabhängige Disable-Kommandos. Diese ermöglichen bei fehlerhaften Verhalten des PDMs ein sicheres Abschalten der Last und das Trennen von den Powerbussen von extern.

Basierend auf den realen PCIOBs wurde von Seiten DAs ein Testcase-Dokument spezifiziert, welches die Basis der Verifikation des Boards war. Diese Testcases wurden vom Unterauftragnehmer an den realen Boards durchgeführt, wobei der Fokus auf dem analogen Anteil lag.
Dadurch wurden die Anteile des PCIOBs, welcher analoger Natur sind, vollständig und erfolgreich funktional getestet. Mit der Lieferung der Testprotokolle sowie des vollständigen Datencontainers inkl. aller Designunterlagen wurde der Unterauftrag erfolgreich abgeschlossen.

© Copyright by Diehl Aerospace GmbH
Dieses Dokument ist Eigentum der Diehl Aerospace GmbH. Eine Nutzung des Dokuments ist nur in unveränderter Form und unter Nennung der Diehl Aerospace GmbH statthaft.
This document is property of Diehl Aerospace GmbH. Use of this document is only permitted without changes and with referencing Diehl Aerospace GmbH.

Einhergehend mit den hohen Strömen hat selbst eine minimal geplante Verlustleistung eine hohe Wärmeleistung zur Folge. Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurde das thermische Verhalten der PCIOBs untersucht. Hierbei wurden Untersuchungen mit einer Thermalkamera während der Analog-Tests durchgeführt. Die Verlustleistung ist dabei exponentiell niedriger bei geringeren Leistungsabgaben. Durch geeignete Kühlmaßnahmenwurden Untersuchungen, insbesondere unter Berücksichtigung des angedachten Gehäusekonzeptes angelehnt an den ARINC 836A-Standard, durchgeführt. Diese Untersuchungen ergaben qualitativ, dass die momentane Auslegung des PDMs mit drei HighPower und vier LowPower PCIOBs thermisch möglich ist.
Weiter stellen die hohen Ströme besondere Anforderungen an den Steckverbinder des Geräts. Die verwendeten, standardmäßigen EN4165 Stecker bieten keine marktverfügbaren Kontaktpins, die in der Lage sind mit derartigen Strömen dauerhaft umzugehen. Daher muss für das Design des PDMs auf ein anderes Steckerkonzept ausgewichen werden. Diese sind ausreichend am Markt verfügbar, bedingen aber eine mechanische Anpassung am ARINC 836A Gehäuse, welche standardmäßig mit EN4165 Steckern ausgerüstet sind.

Ferner musste für das Control Board eine Designentscheidung hinsichtlich der CPU-Selektion getroffen werden. Durch die angedachte Portierung des Control Boards auf andere Module wurde unter Betrachtung der Kriterien Obsoleszenzvermeidung verfügbarer interne IO-Kapazität und Leistungsfähigkeit die Auswahl zugunsten einer ARM-Architektur gesetzt.

Durch die Definition der neuen Leistungsschalterkarte konnte das Design für den Prototyp des PDMs weiter verfeinert werden. Basierend auf der CPU-Selektion wurde angedacht, ein Development Board als CPU-Karte zu verwenden und das IO-Interface-PLD mittels einer eigenentwickelten Karte der DAS darzustellen.Parallel wurden auch Debugger beschafft, um die neue CPU und die neue CPU-Architektur innerhalb der DAS bedienen zu können. Für die CPU-Karte konnte ein erster Entwurf eines Board Support Packages (BSP) erstellt werden.

Weiterhin konnten die IO-PLD-Interfacekarten beschafft werden. Hierfür wurde ein A664-Test-Board verwendet, welches eine geeignete Struktur aufweist und im Rahmen eines anderen Projekts entwickelt wurde. Dieses Board war ursprünglich als Adapterboard für das DAS-eigene A664 Endsystem entwickelt worden und besteht im Kern aus einer konfigurierbaren Hardwareeinheit. Dadurch konnte dieses Adapterboard für das Projekt wiederverwendet werden und musste nicht extra für den Laboraufbau neu entwickelt werden.
Als letztes Element des PDMs dient das Central Board, welches als zentrales Element die Aufnahme der dedizierten Funktionsboards übernimmt und somit auch eine mechanische Funktion als Trägerplatte erfüllt. Dies wird ermöglicht, da das Central Board primäres Interface für die Gerätestecker ist, also die geschalteten Ströme über dieses Board laufen müssen. Dies bedeutet einen Stromfluss von ca. im maximalen Nominalbereich, welches dazu führt, dass die Kupferstärken entsprechend dick ausgeführt werden müssen. Die sich daraus ergebende, inhärente Stabilität hat positiven Effekt auf das mechanische Gesamtkonstrukt des PDMs. Die Stromlaufpläne selbst für das Central Board wurden erstellt, ebenso das Layout und die Beschaffung und Fertigung über einen Supplier.

Für das PDM-Validierungsmuster wurde im Anschluss ein Laboraufbau definiert. Neben dem PDM wurden hierzu folgende Elemente identifiziert:

© Copyright by Diehl Aerospace GmbH
Dieses Dokument ist Eigentum der Diehl Aerospace GmbH. Eine Nutzung des Dokuments ist nur in unveränderter Form und unter Nennung der Diehl Aerospace GmbH statthaft.
This document is property of Diehl Aerospace GmbH. Use of this document is only permitted without changes and with referencing Diehl Aerospace GmbH.

- Simulation der Stromversorgungsbusse im Luftfahrzeug

Zur Simulation der Stromversorgungsbusse wurden zwei Bodenstromversorgungen beschafft. Diese sind auf 28V mit jeweils 200 A spezifiziert und bieten daher ausreichend Leistungsreserven. Die Beschaffung beinhaltete auch die entsprechenden Steckerverbindungen.

- Simulation der Systemlasten

Zur Simulation der Systemlasten wurden elektrische Lastelemente beschafft. Diese sind auf 1,2kW spezifiziert, bieten also auch hier ausreichend Leistungsreserven. Zusätzlich sind die Lasten hinsichtlich ihrer Charakteristiken, also Strom und Spannung, programmierbar und direkt über das spezifizierte Testsystem ansteuerbar.

- Steuerungs- und Monitoring des Versuchsaufbaus

Für die Steuerung und Überwachung des Versuchsaufbaus wurde ein PXI-basiertes Testsystem spezifiziert und beschafft. Dieses besitzt die Interfaces CAN-FD für die Systemkommunikation, wie auch Diskrete Interfaces zur Ansteuerung der unabhängigen Not-Aus Funktion. Für den sicheren Umgang mit den elektrischen Anlagen und den Versuchsmustern wurde mittels 3D-Druck eine Halterung entworfen und gefertigt, welche einen elektrisch sicheren Umgang mit den Boards während der Integration und Validation sicherstellt. Auch wurden die benötigten Verkabelungen beschafft bzw. angefertigt, die für den Gesamtaufbau notwendig waren. Der Aufbau ist in Abbildung 2 dargestellt.

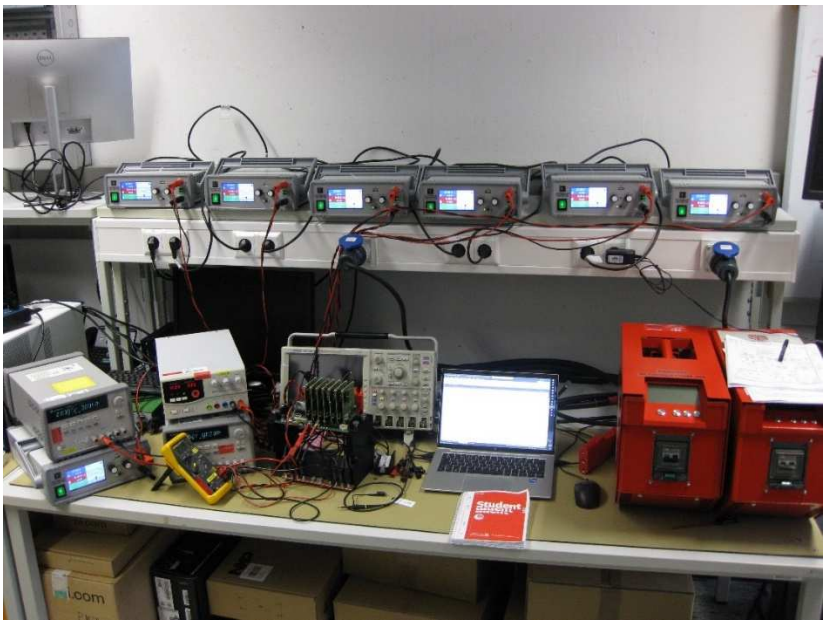

Abbildung 2 Laboraufbau

2.1.1.5 Arbeitspaket 2.3 Konzeption/Entwurf von VM-Funktionen

Ziel des Arbeitspakets war die Konzeption und der Entwurf der Vehicle Management (VM)-Funktionen. Diese waren vom Verbundpartner ILS der Uni Stuttgart verantwortet. Die DAS unterstützte hierbei bzgl. der Funktion des Energieversorgungsmanagements. Hierzu fand zu Beginn des Projektes ein erster

© Copyright by Diehl Aerospace GmbH
Dieses Dokument ist Eigentum der Diehl Aerospace GmbH. Eine Nutzung des Dokuments ist nur in unveränderter Form und unter Nennung der Diehl Aerospace GmbH statthaft.
This document is property of Diehl Aerospace GmbH. Use of this document is only permitted without changes and with referencing Diehl Aerospace GmbH.

Workshop statt, in dem grundlegende Anforderungen an das Energieverteilungssystem diskutiert wurden. Diese Diskussion umfasste auch die Aufgaben der VM-Funktion, die im Wesentlichen auf dem PDM integriert werden soll. Eine wichtige Randbedingung war die Kompatibilität zur AT-Plattform. Allerdings ergab sich im Lauf der Projektlaufzeit die Tatsache, dass ein Eingriff in das Energiesystems des existierenden LFZ-Versuchsträgers signifikante Auswirkungen auf das PtF haben würde, da die Entkopplung zwischen Versuchssystem und zugelassenen Flugzeugsystemen nicht mehr demonstriert hätte werden können. Um dieses Risiko zu vermeiden, wurde entschieden, die Energieversorgung der RCP unabhängig über Batterien sicherzustellen. Dies ermöglichte einen risikoarmen Betrieb hinsichtlich der Erlangung der PtFs, sowie entkoppelte die erheblich aufwändigere Entwicklung des PDMs vom Zeitplan des Versuchsträgers. Zur Erfüllung der Inhalte des Arbeitspaketes wurde die Funktion Energieversorgungsmanagement im Rahmen des Konzept- und Anforderungsdokument aus AP1.3 grundlegend definiert.

2.1.1.6 Arbeitspaket 2.5: Konzeption/Entwurf der RCPG (Bodenstation)

Durch den Aufstockungsantrag begründet aus der Anforderung aus AP1.3 der Eigenentwicklung eines qualifizierbaren Displaysystems für die RCPG beteiligte sich die DAS ab 2024 an diesem Arbeitspaket. Es wurde vom Joint Venture Partner Thales AVS ein integriertes Displaysystem beschafft, welche eine offene Schnittstelle aufweist, sowie durch eine ETSO-Zulassung erhebliche Vorteile bzgl. der angestrebten PtF-Zulassung bietet. Nach technischen Voruntersuchungen durch die DAS erfolgte eine Festlegung der Arbeitsumgebung und -mittel inkl. der zu verwendenden Tools. Für die Entwicklung der Displayapplikation, sowie der Konfigurationsdateien für die Displayeinheiten erfolgte ein Unterauftrag an die Firma Aviotech GmbH, da diese als Gesamtsystemverantwortliche und damit auch der Bodenkontrollstation (RCPG) die größte Erfahrung in Bezug auf die Anforderungen und die Ausgestaltung der Displayapplikation habte. In Abbildung 3 ist ein Ausschnitt der Displayapplikation zu sehen, der auf der linken Seite das ND und auf der rechten Seite das PFD darstellt. Hierbei dient das ND primär zur Flächennavigation und zur Darstellung der Mission, d.h. der Wegpunkte, sowie wichtiger Ortspunkte, wie z.B. Flugplätze. Das PFD hingegen dient dem situativen Bewusstsein des Fernpiloten und gibt den aktuellen Flugstatus für den Fernpiloten wieder in Form der Geschwindigkeit, der Höhe sowie der Fluglage.
In dieser Konstellation konnte der Themenkomplex am schnellsten und kosteneffizientesten gelöst werden. Im Rahmen des Unterauftrags entstanden:

- Ein Konzept zur Einbindung der IDU-15 Displaysysteme in die RCPG
- Die Erstellung der ICD-Spezifikationen zur elektrischen/mechanischen Anbindung an die IOMs in der RCPG
- Die Erstellung der Displayapplikation
- Die Erstellung der Displayapplikation in einem kompatiblen Binärformat

Allerdings ergab sich zur Projektlaufzeit, dass die EASA bis zu dem Ende der Projektlaufzeit ressourcenbedingt das Vorhaben nicht unterstützten konnte. Daher war es nicht möglich ein PtF für Phase 2 zu beantragen und die Notwendigkeit der Displaysysteme entfiel. Dadurch wurden die finale Erstellung der „Konfigurationsloads“ und die finale Integration in die RCPG zwar begonnen, aber nicht mehr durchgeführt.

© Copyright by Diehl Aerospace GmbH
Dieses Dokument ist Eigentum der Diehl Aerospace GmbH. Eine Nutzung des Dokuments ist nur in unveränderter Form und unter Nennung der Diehl Aerospace GmbH statthaft.
This document is property of Diehl Aerospace GmbH. Use of this document is only permitted without changes and with referencing Diehl Aerospace GmbH.

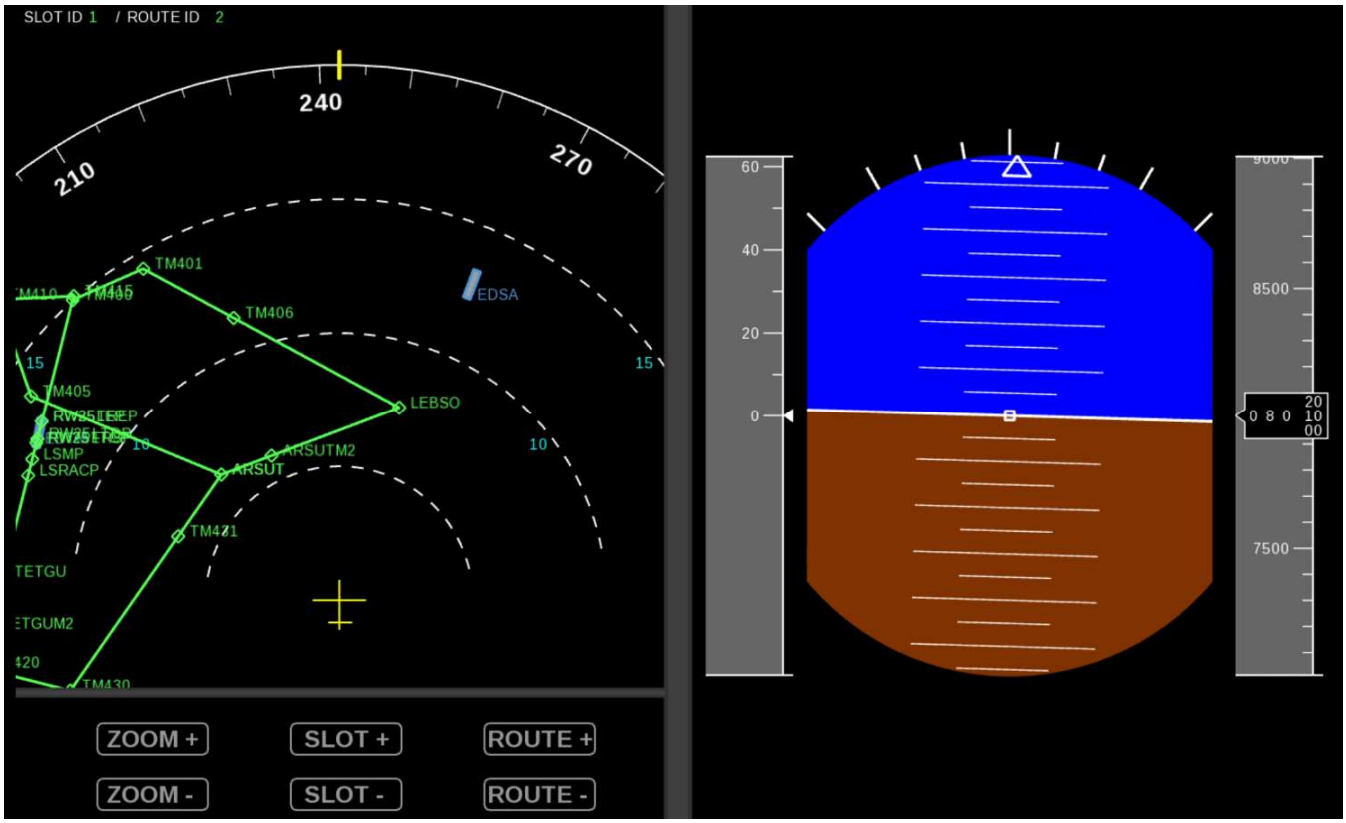

Abbildung 3 PFD und ND Ansicht der Displayapplikation

2.1.1.7 Arbeitspaket 3.2: Erstellen/Validieren des RCP-Validators

In diesem Arbeitspaket unterstützte die DAS den Verbund durch die Durchführung der Umweltqualifikationstests der Equipments mittels des Testlabors der DAS in Überlingen. Dabei wurden basierend auf der *Qualification Test Matrix* (QTM) aus AP1.1 und der optimierten Teststrategie aus AP1.3 die Arbeiten an den Dokumenten *Environmental Qualification Test Plan* (QTP) und der entsprechenden *Environmental Qualification for Test Procedure* (QTPr) aufgenommen. Die QTPrs bilden inhaltlich die Testanweisungen zur Durchführung des Umweltqualifikationstests ab. Wesentlich waren in diesem Arbeitspaket Abstimmungsaktivitäten zwischen dem Verbundpartner Aviotech und dem DAS-Umweltqualifikationstestteam. Diese Abstimmungen umfassten u.a. physikalische Beschränkungen der Testkammer während der geplanten Systemtestdurchführung als auch Anforderungen an das Testsystem und an die Testverkabelung. Das Projektteam stellte hierbei die zentrale Schnittstelle in der Organisation dieser Abstimmungen dar. Im Projektverlauf konnten die Arbeiten an den Dokumenten *Environmental Qualification Test Plan* (QTP) und den entsprechenden *Environmental Qualification for Test Procedure* (QTPr) abgeschlossen werden. Diese Dokumente dienten als Grundlage zur Aufnahme der Durchführung der Umweltqualifikationstests. Zusätzlich fanden enge Abstimmungen und Unterstützungsaktivitäten mit dem Partner Aviotech bei der Erstellung der Acceptance Test Procedure (ATP) für alle drei Geräte sowie bei der Erstellung der Equipment Configuration Matrix statt. Weiterhin unterstützte die DAS Aviotech bei der Definition eines adäquaten Kabelbaums sowie bei geeigneten Versuchsaufbauten für die Umwelttestkammer.

© Copyright by Diehl Aerospace GmbH
Dieses Dokument ist Eigentum der Diehl Aerospace GmbH. Eine Nutzung des Dokuments ist nur in unveränderter Form und unter Nennung der Diehl Aerospace GmbH statthaft.
This document is property of Diehl Aerospace GmbH. Use of this document is only permitted without changes and with referencing Diehl Aerospace GmbH.

Als Ergebnis musste für alle Geräte (CPP, IOM, SAM) in allen Kategorien ein „Failed“ festgehalten werden. Die Detailergebnisse wurden in Form eines Qualification Test Reports (QTR) festgehalten. Allerdings ergab sich bei eingehender Betrachtung der Ergebnisse und der Diskussion mit dem Partner AT, dass die Module die Kategorien jeweils nur knapp nicht erreicht haben. Dies stellt kein ungewöhnliches Ergebnis dar für neuentwickelte Module dar. Es ist davon auszugehen, dass durch ein Redesign der Module diese Umweltanforderungen kein Problem darstellen sollten. Eine eingehendere Analyse erfolgte im Rahmen des Projekts nicht.

2.1.1.8 Arbeitspaket 3.3 Flug-Validation von RPAS/RCP

In diesem Arbeitspaket fand die Flug-Validation des RPAS bzw. der RCP statt. Die DAS war hier im Wesentlichen unterstützend tätig. Diese Unterstützung konnte nicht vollständig durchgeführt werden aufgrund:

- Umpriorisierung des Energieverteilungssystems auf Verbundebene
  Durch die Einrüstung von Batterien in das LFZ konnte der PDM-Validator nicht am Versuchsträger integriert und getestet werden. Dies wurde ausgeglichen durch eine intensive Validation im Labor (AP2.2)

- Fehlende Zuarbeit von Seiten der EASA
  Durch auf Seiten EASA ressourcenbedingte fehlende Zuarbeit der EASA konnte kein PtF für Phase 2 beantragt werden. Damit entfiel die Grundlage für die qualifizierbaren Displaysysteme, die Flugversuche für den unbemannten Flug, d.h. ohne Sicherheitspiloten, sowie die Diskussion über eine Zulassungsbasis (inkl. der Umweltanforderungen) für derartige UAS. Dieser Zustand konnte bis zum Projektende nicht behoben werden.

- Durch die vorzeitige Beendigung der Flugtests ergab sich das Fehlen einer Datengrundlage, um eine Evaluation der Flugversuchskampagne durchzuführen.

Dadurch konnte das Arbeitspaket für die DAS nicht vollumfänglich und zufriedenstellend abgeschlossen werden. Jedoch hat die Nicht-Durchführung der Flugvalidation keine Auswirkungen auf die geplante Verwertung der DAS. Weiter wurden alle Aufgaben als Verbundpartner durch die DAS erfüllt, sodass keine anderen Aktivitäten behindert wurden. Entsprechende Änderungen wurden durch den Verbundführer dem Projektträger angezeigt.

© Copyright by Diehl Aerospace GmbH
Dieses Dokument ist Eigentum der Diehl Aerospace GmbH. Eine Nutzung des Dokuments ist nur in unveränderter Form und unter Nennung der Diehl Aerospace GmbH statthaft.
This document is property of Diehl Aerospace GmbH. Use of this document is only permitted without changes and with referencing Diehl Aerospace GmbH.

2.1.2 Verwendete Fachliteratur / Referenzen

[1] ED-125 (ARP4761) – Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assesment Process on Civil Airborne Systems and Equipment

[2] ED-79A – Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems

[3] ED-12C Software considerations in airborne systems and equipment certification

[4] ED-80 – Design Assurance Guidance for Airborne Electronic Hardware

[5] EU Regulation 947 2019/947

[6] EU Regulation 945 2019/945

[7] Tietze U., Schenk Chr.: Halbleiter - Schaltungstechnik. 12. Auflage, Springer Verlag.

2.2 Voraussichtliche Nutzung der Ergebnisse

Diehl Aerospace möchte mit dem in diesem Vorhaben gewonnenen Technologien und dem Know-how mehrere Märkte bedienen. Zum einen stellt das Vorhaben für DAS den Einstieg in die Thematik autonomes Fliegen dar. Durch weitere nachfolgende Vorhaben soll die Technologie weiterentwickelt werden. Als Produkte / Plattformen werden sowohl Anwendungen im Bereich CS-23 gesehen, aber auch Anwendungen für autonom fliegende Drohnen und / oder UAS für z.B. Paketdienste, Notfallversorgung, Umweltbeobachtungen, Grenzüberwachung, und weitere.

2.3 Veröffentlichung der Ergebnisse

Der Abschlussbericht wird im TIB abgelegt werden.

© Copyright by Diehl Aerospace GmbH
Dieses Dokument ist Eigentum der Diehl Aerospace GmbH. Eine Nutzung des Dokuments ist nur in unveränderter Form und unter Nennung der Diehl Aerospace GmbH statthaft.
This document is property of Diehl Aerospace GmbH. Use of this document is only permitted without changes and with referencing Diehl Aerospace GmbH.