

Leistungsstarke Flugrechner für Assistenzsysteme in der Allgemeinen Luftfahrt

Teilvorhaben *ASSISTfly* der f.u.n.k.e. AVIONICS GmbH

im Verbundprojekt

Sicherheitssteigernde Assistenzsysteme für die Allgemeine Luftfahrt *SAFEfly*

ein Verbundvorhaben,
gefördert über die Fördermaßnahme
Luftfahrtforschungsprogramm VI-1 des BMWK

Schlussbericht

Vorhabenbezeichnung:	ASSISTfly, Teilprojekt im Verbundvorhaben SAFEfly
Förderkennzeichen:	20Q1937A
Laufzeit des Vorhabens:	01.11.2021 bis 29.02.2024
Berichtersteller:	Dr. Marc Gerlach
Datum:	01.07.2024

INHALT

1. EINLEITUNG	7
1.1. AUFGABENSTELLUNG.....	7
1.2. DURCHFÜHRUNG DES PROJEKTS.....	7
1.3. ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN PROJEKTEN.....	8
2. ÜBERSICHT ÜBER DAS PROJEKT	9
2.1. AUFGABENSTELLUNG.....	9
2.2. AUSGANGSPUNKT UND MOTIVATION DER PROJEKTDURCHFÜHRUNG.....	10
2.3. PLANUNG UND ABLAUF.....	12
2.3.1. <i>Arbeitspakete</i>	12
2.3.2. <i>Zulassungskonzept</i>	14
2.3.2.1. Grundgedanke der Produktzulassung in der EU.....	14
2.3.2.2. Produktzulassung in der Luftfahrt.....	16
2.3.3. <i>Entwicklung der Hardware für den zentralen Bordrechner</i>	21
2.3.3.1. Anforderungen bei SAFEfly.....	21
2.3.3.2. Zentraler Bordrechner – Hardware.....	24
2.3.3.3. Zentraler Bordrechner - Betriebssystem.....	32
2.3.3.4. Zentraler Bordrechner - Assistenzsysteme.....	33
2.3.4. <i>Flugversuche</i>	36
2.4. ZUSAMMENARBEIT.....	42
3. ZIELERREICHUNG DES VORHABENS	43
3.1. SMARTE ZIELE.....	44
3.1.1. <i>Spezifisch</i>	44
3.1.2. <i>Messbar</i>	44
3.1.3. <i>Attraktiv/Achievable</i>	45
3.1.4. <i>Realistisch</i>	45
3.1.5. <i>Terminiert</i>	45
3.2. FÖRDERPOLITISCHES ZIEL.....	45
4. VERWERTBARKEIT DER ERGEBNISSE	47

VERZEICHNIS DER BILDER

ABBILDUNG 1: ARBEITSBLÖCKE UND GROBUNTERTEILUNG IM VERBUNDVORHABEN SAFEFLY.....	11
ABBILDUNG 2: KOMPONENTEN IM VORHABEN SAFEFLY.....	11
ABBILDUNG 3: ARBEITSPAKETSTRUKTUR DES VORHABENS SAFEFLY.....	13
ABBILDUNG 4: GANTT-CHART DES VORHABENS SAFEFLY.....	14
ABBILDUNG 5: NACHWEIS DER COMPLIANCE.....	16
ABBILDUNG 6: BLOCKDIAGRAMM BORDRECHNER.....	28
ABBILDUNG 7: AUSLEGUNG DER HAUPTPLATINEN DES BORDRECHNERS.....	28
ABBILDUNG 8: AUSLEGUNG DER STROMVERSORGUNG DES BORDRECHNERS.....	29
ABBILDUNG 9: RECHNERMODUL DES HERSTELLER VARISCITE.....	30
ABBILDUNG 10: GEHÄUSE-DESIGN.....	30
ABBILDUNG 11: FERTIG AUFGEBAUTER, ZENTRALER BORDRECHNER.....	31

ABBILDUNG 12: VON DER TUB GEFERTIGTE SENSORBOX.....	32
ABBILDUNG 13: AUSGABE EINER TRAFFIC-CONFLICT-SITUATION AUF DER C2LAND-APPLIKATION	33
ABBILDUNG 14: SENSORDATENZUFUHR FÜR DIE C2LAND-APPLIKATION	34
ABBILDUNG 15: ENTWICKLUNG DES FLAREASSISTENTEN ZUR FÜHRUNG DES OPTIMALEN GESCHWINDIGKEITS- /HÖHENVERLAUFS.....	35
ABBILDUNG 16: WAHL DER FARBGEBUNG UND DER SPRACHAUSGABEN	35
ABBILDUNG 17: ANZEIGE DES FLAREASSISTENTEN.....	36
ABBILDUNG 18: ÜBERSICHT ÜBER DURCHGEFÜHRTE VERSUCHE WÄHREND DER PROJEKTLAUFZEIT DER TU BERLIN	37
ABBILDUNG 19: EINBAU DES BORDRECHNERS IM VERSUCHSFLUGZEUG REMOS GX: LINKS DIE SENSORBOX, IN DER MITTE DER BORDRECHNER, RECHTS DAS TM350	38
ABBILDUNG 20: LIDAR-DISTANZMESSUNG ZUM BODEN AN DER RUMPFUNTERSEITE, AUßENANTENNEN AUF DER RUMPFÜBERSEITE	39
ABBILDUNG 21: EINSATZ- (A) UND CONTINGENCY-LUFTRÄUME (B) FÜR DAS SONGBIRD-UAV UND DAS VERSUCHSFLUGZEUG INNERHALB DER PLATZRUNDENVERLÄUFE IN COCHSTEDT	39
ABBILDUNG 22: ANZEIGE DER VERSUCHSFLUGGERÄTE IN DER APP ADS-B-EXCHANGE MIT A) SONGBIRD (SÜDLICH DER BAHN), B) MULTIKOPTER (NÖRDLICH DER BAHN), C) REMOS GX (IM ENDANFLUG DER PLATZRUNDE)	40
ABBILDUNG 23: ANZEIGE IM MOBILEN LEITSTAND-FAHRZEUG	41
ABBILDUNG 24: MÖGLICHE AVIONIKVERNETZUNG DES BORDRECHNERS IM FLUGZEUG	48

Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
BMEK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klima
BVLOS	Beyond Visual Line of Sight
CAA	Civil Aviation Authority
CCDL	Cross-Channel-DataLink
CDR	Critical Design Review
DFS	Deutsche Flugsicherung
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
EASA	European Aviation Safety Agency
EUROCAE	European Organization for Civil Aviation Equipment
FAV	f.u.n.k.e. AVIONICS GmbH
FHA	Functional Hazard Analysis nach SAE ARP 4761
FRR	Flight Readiness Review
GCS	Ground Control Station
GUTMA	Global Unmanned Traffic Management (UTM) Association
HAP	Hauptarbeitspaket
HMI	Human Maschine Interface
ICAO	International Civil Aviation Organisation
IND	Industrie
KMU	Kleine und mittelständige Unternehmen
KTAS	Knots true airspeed
Lfz	Luftfahrzeug
MS	Meilenstein
NATS	National Air Traffic Services
PDR	Preliminary Design Review
RF	Radio Frequency
RPA	Remotely Piloted Aircraft
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics
S&A	Sense and Avoid

SDD	System Design Description
SRD	System Requirements Document
SW	Software
UK	United Kingdom of Great Britain (England, Scotland, Wales) and Northern Ireland
UAS	Unmanned Aerial System
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
U-space	Urban-space
UTM	Unmanned Traffic Management
VLOS	Visual Line of Sight
WIS	Wissenschaftseinrichtungen

LITERATURVERZEICHNIS

[RD1]

ADS-B in a General Aviation Context, Draft Discussion Paper, EUROCONTROL, UK CAA, NATS, AOPA UK, Mai 2018

[RD2]

Operational Services and Environment Descriptions for Detect and Avoid [Traffic] in class D-G airspaces under VFR/IFR, EUROCAE, March 2018

[C2Land]

C2LC1 – TA, Technischer Abschlussbericht, Verbundvorhaben C2-Land Phase C1, 15.02.2021, Förderkennzeichen 50NA1920, Raumfahrtmanagement, TIB Hannover

[SAFEfly-TUB]

Fördervorhaben SAFEfly, Abschlussbericht der TUB, Verbundvorhaben SAFEfly, Förderkennzeichen 20Q1937B, Luftfahrtforschungsprogramm VI-1, TIB Hannover

RTCA Document	EUROCAE Document	Content
RTCA/DO-208		GPS
RTCA/DO-229D		SBAS - MOPS
RTCA/DO-181E	EUROCAE/ED-73C	MOPS for ATRBS-Mode S Airborne Equipment (Mode-S XPDR)
RTCA/DO-260B	EUROCAE/ED-102B	ADS-B 1090 - MOPS
RTCA/DO-317B		Aircraft Surveillance Applications System - MOPS
RTCA/DO-185B	EUROCAE/ED-143	TCAS II - MOPS
RTCA/DO-160G	EUROCAE/ED-14G	Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment

1. EINLEITUNG

1.1. Aufgabenstellung

Dieses Dokument beschreibt zusammenfassend die Arbeiten und Ergebnisse des Teilverhabens *ASSISTfly* der f.u.n.k.e. AVIONICS GmbH (FAV) im Verbundvorhaben *SAFEfly*. Im Rahmen des Projekts wurde ein GA-tauglicher Bordrechner für Kleinflugzeuge ausgelegt und bis zur Demonstrationsreife entwickelt. Dieser Rechner diente anschließend als Plattform für zwei Assistenzsysteme, die als Softwareanwendungen in der Flugführung den sicheren Betrieb von GA-Flugzeugen im heterogen gemischten Luftraum mit anderen GA-Flugzeugen und Drohnen sicherstellen sollen.

Eine der beiden Anwendungen stellt den erkannten, umliegenden Verkehr auf einer Verkehrsdarstellungsseite dar, die zudem die Flugsituation der unterschiedlichen Verkehrsteilnehmer auf mögliche Konflikte untersucht und bewertet. Dies ist insbesondere in bodennahen Flugphasen wie Start und Endanflug/Landung wichtig, bei denen sich Drohnen mit GA-Flugzeugen mischen können. Eine zweite Anwendung diente dann der Flugphase Landung mit besonderer Unterstützung des Flares bis zum Aufsetzen. Hier konnte gezeigt werden, dass ein zentraler Bordrechner mit Verbindung zu den wichtigsten Flugparametern und entsprechenden Sensoren die Energiesituation des Flugzeugs anzeigen und das richtige manuelle Verhalten in der Aufsetzphase unterstützen kann.

1.2. Durchführung des Projekts

FAV war im Gesamtvorhaben *SAFEfly* als Koordinator und im Teilverhaben *ASSISTfly* als ausführende Stelle tätig. *SAFEfly* wurde im November 2020 als Fördervorhaben seitens des BMWK im Programm LuFo VI-1 bewilligt und im Dezember 2020 / Januar 2021 begonnen. Das Fördervorhaben wurde als Verbundprojekt mit f.u.n.k.e. AVIONICS GmbH als Koordinator und der Technischen Universität Berlin mit dem Teilverhaben *MixEDfly* als Wissenschaftliche Einrichtung über den Zeitraum von gut drei Jahren bis Februar 2024 umgesetzt. Innerhalb des Zeitrahmens wurde unter Berücksichtigung von den besonderen Randbedingungen von Kleinflugzeugen der UL- und Echo-Klasse eine Rechnerhardware konzipiert, entwickelt und als Demonstrator aufgebaut. Auf dieser Plattform wurde ein bereits bestehendes Assistenzsystem portiert und eine zweite Anwendung, der Flare-Assistent, neu entwickelt. Der ursprüngliche Zeitplan von genau drei Jahren wurde kostenneutral um vier Monate verlängert, um noch Flugversuche durchführen zu können, die das Projekt abschließen und die im Projekt entstandenen Hardware- und Software-Lösungen bei definierten Abläufen und Verfahren validieren sollten. Diese Flugversuche fanden Anfang 2024 auf dem Drohnenerprobungsflughafen Cochstedt statt, der hierfür von der DLR betrieben wird.

Die Hauptaufgabe für FAV bestand in der Hardwareentwicklung des Bordrechners und der Konfiguration des Linux-Betriebssystem, so dass der Bordrechner in einem GA-Flugzeug eingerüstet und betrieben werden kann. Die Auswahl und Portierung der beiden Anwendungen dienten dem Nachweis, dass die Hardware in der Lage ist, die notwendigen Verbindungen zu den benötigten Sensoren herzustellen und die ressourcenfordernden Anwendungen ablaufen zu lassen. Hierzu wurde auf eine bestehende

Anwendung aus dem Vorgängerprojekt *C2Land* zurückgegriffen. Diese wurde für die hier vorliegende Aufgabe des gemischten Betriebs für Drohnen und GA-Flugverkehr an einem typischen GA-Flugplatz angepasst und auf das neue System zu portiert. Ergänzt wurde diese Anwendung durch einen vom Partner TUB neu entwickelten Flare-Assistenten, der die Piloten im letzten Teil eines Fluges als Assistenzsystem die manuelle Steuerung des Luftfahrzeugs unterstützt. Darüber hinaus hat die TUB die Sensoreinheiten auf Drohne und in Flugzeug mit Kommunikationskomponenten ausgestattet, damit die Drohnen und das Flugzeug sich gegenseitig erfassen können. Die sich aus dem dichten, bodennahen Verkehr ergebenden Konfliktsituationen konnten im Rahmen der abschließenden Flugversuchen strukturiert gezeigt und der *C2Land*-Anwendung zur Anzeige und Unterstützung an den Piloten zugeführt. Die Auswahl der Anwendungen wurde aus der ursprünglichen Aufgabenstellung abgeleitet, bei denen Notlandefeldererkennung und Assistenz bei der Notlandung in Form von KI-Applikationen im Vordergrund standen. Diese Anwendung konnte allerdings nicht umgesetzt werden, da der hierfür vorgesehene Partner für dieses Projekt leider zu Beginn des Vorhabens ausschied.

Die Arbeiten des Projekts wurden mit den Flugversuchen in Cochstedt erfolgreich abgeschlossen. Dabei wurden die Geräte und Systeme einer Validierung anhand von Szenarien mit zwei Drohnen und einem Testflugzeug unterzogen. Alle Komponenten wie Bordrechner, Sensorbox Flugzeug, Sensorbox Drohne, Assistenzsysteme, Darstellungs- und Kommunikationssysteme waren rechtzeitig einsatzbereit und konnten bei den Versuchen eingesetzt werden. Der Versuchsflughafen Cochstedt der DLR wurde ausgesucht, da er speziell für den Einsatz von Drohnen ausgelegt ist und der Luftraum für die Versuche vor anderem Verkehr ausreichend geschützt werden konnte. Dies war letztlich auch hilfreich, um die behördlich notwendigen Aufstiegsgenehmigungen einzuholen. Der Flugplatz Cochstedt besitzt für die Versuche eine außergewöhnliche gute Infrastruktur mit großzügigen, beheizten Räumlichkeiten und permanenter personeller Unterstützung in allen flughafenbetrieblichen Aufgaben, so dass die Versuche auch in winterlichen Verhältnissen im Januar 2024 durchgeführt werden konnten. Die Versuche dauerten zwei Tage plus einem weiteren Tag im Vorfeld zur Vorbereitung.

Mit den Versuchen in Cochstedt endeten die technischen Arbeiten im Projekt. Es folgten anschließend die Auswertungen der Versuche und die Darstellung aller Ergebnisse als Präsentation und in diesem Endbericht.

1.3. Zusammenarbeit mit anderen Projekten

Während der Projektdurchführung gab es regelmäßigen Austausch mit dem Projekt *Morealis*, das ebenfalls im LuFo VI-1 aufgesetzt und vom BMWK gefördert wurde. In diesem Projekt wird zurzeit untersucht, wie Piloten in Notfallsituationen mit automatisierten Anwendungen bis zu einer Notlandung unterstützt werden können. Dabei werden entsprechende Anwendungen und Bordrechner benötigt. Somit sind Teile der Aufgabenstellung den Arbeiten in diesem Projekt nicht unähnlich und können ggf. zukünftig gemeinsam fortgeführt werden.

2. Übersicht über das Projekt

2.1. Aufgabenstellung

Die allgemeine Luftfahrt (GA) ist durch verschiedene Teilnehmer und Fluggeräte mit unterschiedlichen Flug-, Missions- und Systemeigenschaften geprägt. Diese heterogene Verkehrsstruktur stellt an die Beteiligten (Piloten, UAS-Operatoren und Flugplatzleitungen) erhöhte Anforderungen zur sicheren Flugdurchführung - speziell im bodennahen Luftraum und an Landeplätzen. Für diese Aufgaben kann ein integriertes Avioniksystem bestehend aus Flugcomputer, Assistenzsystemen und Sensor-, Sende- und Empfangseinheit hilfreich sein. Es bietet den Piloten eine umfassende Verkehrsdarstellung, erleichtert die Flugführung im heterogen genutzten Umfeld und unterstützt eine sichere Flugdurchführung.

Hierfür geeignete Assistenzsysteme nutzen typischerweise neue Sensoren, sind gekennzeichnet durch komplexe Vorgänge und nutzen daher zunehmend Elemente der künstlichen Intelligenz, die sowohl Zugriff auf unterschiedliche Sensordaten als auch performante Rechnerplattformen benötigen. Als Plattform solcher Assistenzsysteme werden daher neue zentrale, flugfähige Bordrechner benötigt, die über eine Anbindung externer Sensoren integrierte Algorithmen mit Daten versorgen. Unter anderem können die Assistenzsysteme z.B. auf LiDAR, SBAS und den Output kooperativer Sende- und Empfangsgeräte zugreifen und sind sinnvollerweise mit anderen Geräten vernetzt. Sowohl Bordrechner als auch Sensoren müssen trotz hoher Anforderungen mit den Einschränkungen der kleinen Luftfahrzeuge bzgl. Größe, Gewicht und Energie zurechtkommen. Zudem müssen neue Anzeigekonzepte entwickelt werden, die eine für die Assistenzsysteme geeignete Anzeige im Cockpit bieten und die idealerweise die zunehmende Verbreitung mobiler Endgeräte nutzen.

Das Verbundvorhaben SAFEfly hat sich zum Ziel gesetzt, ein solches Avioniksystem bestehend aus Bordrechner, Assistenzsystem mit Anzeigeeinheit und Sensorbox als Funktionsdemonstrator für den Einsatz in kleinen Luftfahrzeugen aufzubauen. Nach der Realisierung eines solchen Systems als flugfähiger Demonstrator soll dieser im Flugversuch mit unterschiedlichen Flugversuchsträgern und Teilnehmern an einem Flugplatz der GA erprobt werden. Die Validierung soll in einem heterogen genutzten Luftraum mit Drohnen erfolgen, wobei eine Unterstützung des Piloten durch eine adaptierte Flugwegführung mit Landeassistenten gezeigt werden soll. Das Ziel des Vorhabens war somit die Entwicklung eines Demonstrators in Hard- und Software sowie dessen Validierung im Flugversuch. Die Arbeiten sollen FAV in die Lage versetzen, nach dem Vorhaben eine Entwicklung für ein marktreifes Produkt beginnen zu können.

Hierzu hat sich Ende 2020 der SAFEfly-Verbund zusammengefunden, der aus folgenden Partnern besteht:

- f.u.n.k.e. AVIONICS GmbH, Buchloe (FAV), Verbundführer, KMU, ausführende Stelle: Magirusstraße 39/1, 89077 Ulm
- TU Berlin, Institut für Luft- und Raumfahrt, Fachgebiet Flugführung und Luftverkehr (TUB), Partner, WIS, Marchstraße 12, 10587 Berlin

Für dieses Vorhaben wurde eine Förderung in der KMU-Programmlinie des Luftfahrtforschungsprogramms VI in Anspruch genommen, bei der FAV als Hersteller von Avionikprodukten von der wissenschaftlichen Einrichtung TUB in einem Verbundvorhaben unterstützt wurde. Die TUB brachte neben der wissenschaftlichen Kompetenz ausgewählte Funktionen für den Demonstrator ein und war für die Durchführung der Flugdemonstration zuständig.

2.2. Ausgangspunkt und Motivation der Projektdurchführung

Die Arbeiten im Projekt *SAFEfly* sollen dazu beitragen, wie durch den Einsatz von Assistenzsystemen in kleinen Luftfahrzeugen die Flugsicherheit verbessert werden kann – insbesondere in gemischt genutzten Lufträumen, in denen Flüge von Drohnen als auch Luftfahrzeuge der Allgemeinen Luftfahrt zeitgleich stattfinden. Gerade im bodennahen Flugphasen wie Start und Landung an typischen Flugplätzen der Allgemeinen Luftfahrt ist mit gemischtem Verkehr zu rechnen, der erhöhte Anforderungen an die Kollisionserkennung und -vermeidung stellt. Entsprechende Assistenzsysteme, die die Piloten in diesen Phasen unterstützen, sind jedoch bislang in Kleinflugzeugen und ULs kaum anzutreffen. In der Regel fehlt es bereits an einer zentralen Rechereinheit, die mit Zugriff auf geeignete Sensoren und ausreichender Leistungsfähigkeit ausgestattet ist, um diese Funktionen zu ermöglichen. Hier setzen die Arbeiten im vorliegenden Projekt *SAFEfly* an. Um solche Assistenzsysteme zu realisieren, müssen daher leistungsstarke, flugfähige Rechner angeboten werden, auf denen Assistenzsysteme implementiert werden können und die mit geeigneten, in diesem Anwendungsfeld bisher kaum eingesetzten Sensoren und neuen Anzeigen zusammenarbeiten. FAV ist als Anbieter von Avionikgeräten für Kleinflugzeuge in dem angestrebten Markt aktiv und möchte diesem Kundenkreis zukünftig weitere Produkte anbieten, die die Flugsicherheit für das neue, heterogene Umfeld spürbar erhöhen. FAV wird durch die Erarbeitung der notwendigen Grundlagen für die spätere Entwicklung entsprechend leistungsfähiger Bordrechnerprodukte in die Lage versetzt, die Anforderungen an diese Produkte zu spezifizieren, zu entwickeln und damit das Produktangebot zu erweitern. Das Vorhaben soll neben der Erhöhung der Flugsicherheit auch dazu beitragen, die Zukunftsfähigkeit von kleinen und mittelständischen Avionikherstellern zu erhalten, gerade im Hinblick auf die sich aktuell stark verändernde Nutzung des Luftraums durch das Aufkommen von unterschiedlichen Luftverkehrsteilnehmern.

Um dieses Ziel zu erreichen, haben sich FAV und TUB zur Durchführung eines Verbundvorhabens im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms entschlossen. Zu Beginn des Vorhabens wurden die einzelnen Themenschwerpunkte identifiziert und den beiden Partnern zugewiesen (Abbildung 1). Diese anfängliche Zuordnung konnte über den Projektverlauf im Wesentlichen beibehalten werden und musste nur wenigen Punkten angepasst werden - z.B. wurden nicht alle Unteraufträge in der geplanten Weise vergeben. Es wurde ebenfalls eine Zuordnung von Komponenten durchgeführt, die von den beiden Partnern in diesem Vorhaben aufgebaut und eingesetzt werden sollen. Diese Komponenten sind in Abbildung 2 dargestellt. Die Unterstützung durch die wissenschaftlichen Einrichtung TUB konnte sich im Projekt zum einen auf die Betrachtung neuartiger Sensoren fokussieren, die die notwendigen Daten für die Assistenzsysteme bereitstellen. Die TUB ergänzte darüber hinaus mit der Erarbeitung eines Flare-Assistenten die Applikationen auf dem Bordrechner für die letzte Phase des Fluges. Zum anderen war die praktische Erprobung in Flugversuchen durch die Nutzung des Versuchsträgers möglich, der von der Hochschule angemietet wurde. Damit konnte verifiziert werden, ob die gewählte Vorgehensweise und die technologischen Ansätze zu einem erfolgreichen Produkt führen können.

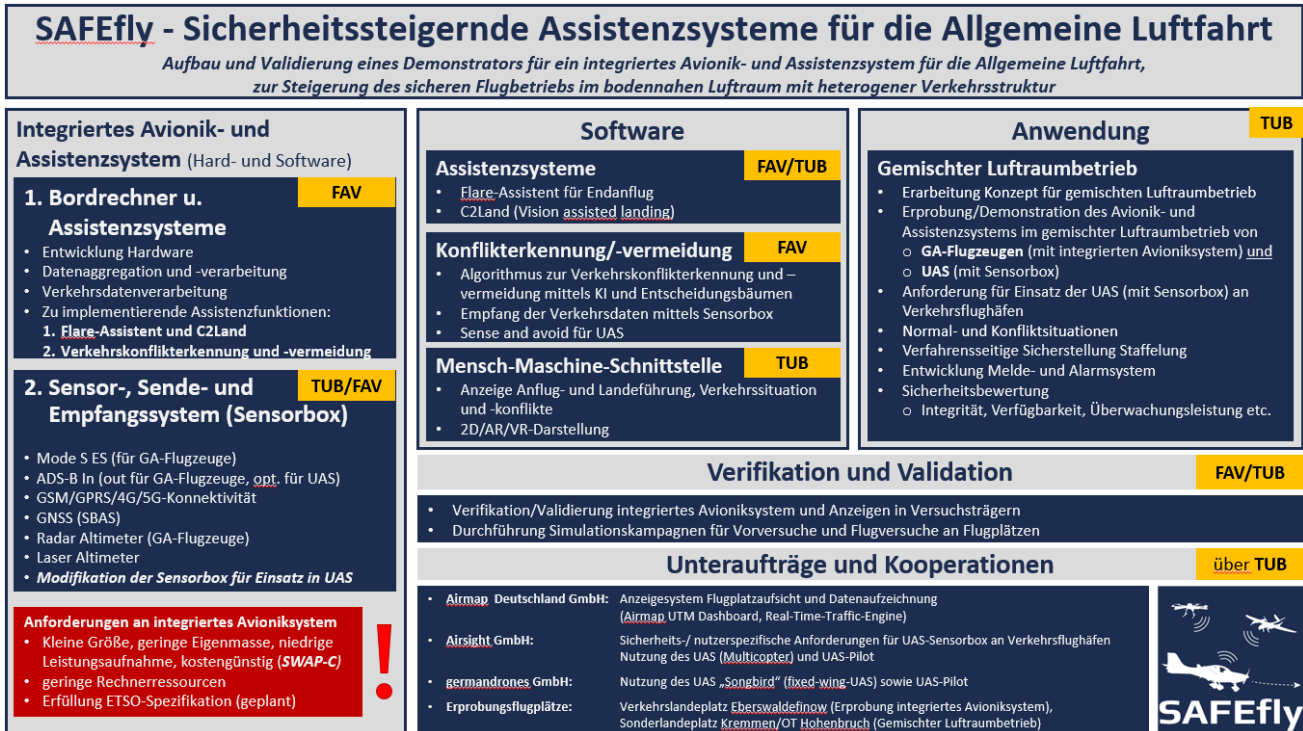


Abbildung 1: Arbeitsblöcke und Grobunterteilung im Verbundvorhaben SAFEfly

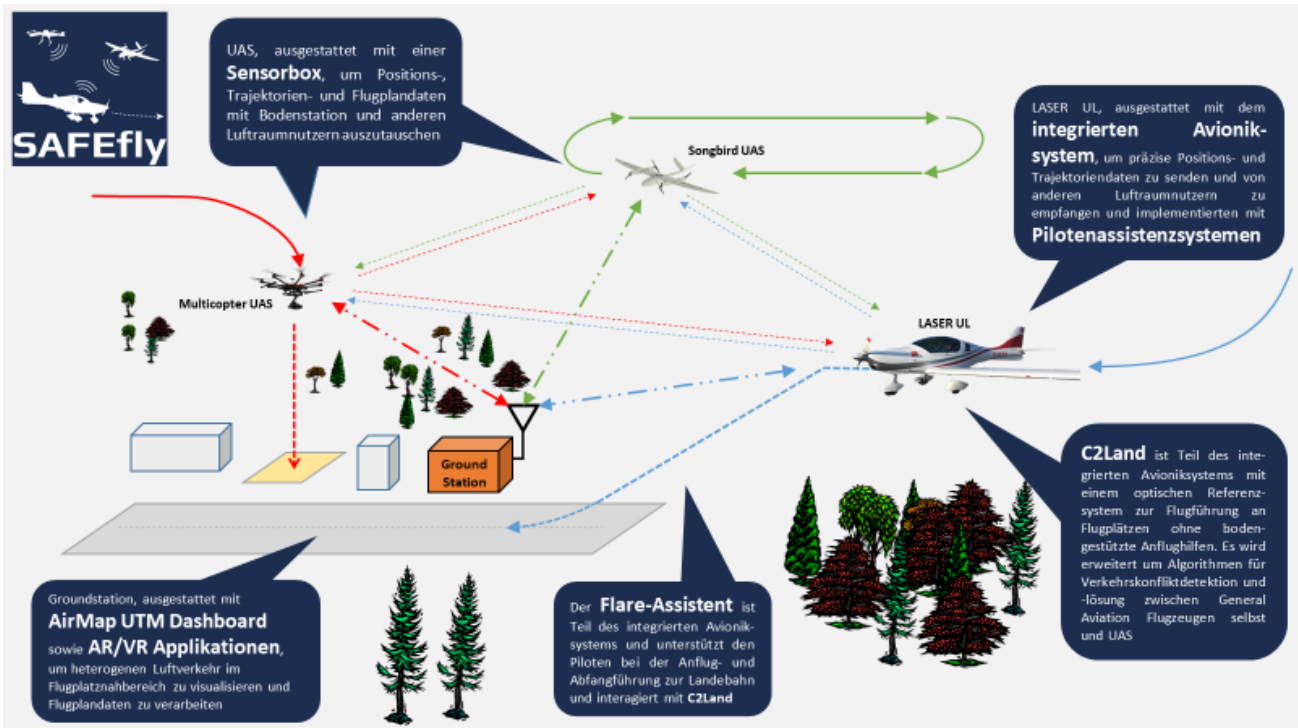


Abbildung 2: Komponenten im Vorhaben SAFEfly

Als Anwendungsfall wurde für dieses Vorhaben der Landeanflug gewählt, bei dem die Belastung der Piloten besonders hoch ist und bei dem die Gefahr von Fehlern rasch katastrophale Folgen haben kann. Zudem ist in bodennaher Flughöhe zunehmend mit Drohnenverkehr zu rechnen, der durch das Aufkommen von Drohnen und unterschiedlichen ULs und Luftsportgeräten besonders heterogen ist. Dies ist gerade bei einfachen Flugplätzen der Fall, wo der Luftverkehr nicht so aktiv geregelt wird wie an großen Flughäfen. In diesen besonders anspruchsvollen Flugphasen ist der Nutzen der Assistenzsysteme besonders hoch.

2.3. Planung und Ablauf

2.3.1. Arbeitspakete

Die Arbeit des insgesamt gut dreijährigen Vorhabens (Dezember 2020 bis Februar 2024) wurde in vier Hauptarbeitspakete (HAP) zuzüglich dem HAP Projektmanagement (HAP 1) untergliedert. In HAP 2 wurden alle Entwicklungsarbeiten gebündelt, die zur Auslegung und Realisierung der Rechnerhardware und der beiden Sensoreinheiten benötigt wurden. Darunter fielen die Erfassung der Anforderungen und die Analyse der Grundlagen sowie die Betrachtung der Vorgaben für eine mögliche spätere Zulassung der Hardware. HAP 3 befasste sich mit der Entwicklung (TUB) und Portierung (FAV) der Anwendungen C2Land und Flare-Assistent als Beispiel möglicher Assistenzsysteme. Die Vorbereitung der Flugversuche und die Durchführung der Erprobung wurde federführend von TUB in den HAP 4 und 5 vorbereitet und ausgeführt. FAV war in allen HAPs aktiv eingebunden. Die Schwerpunkte der Arbeiten von FAV fanden in den HAP 1 (Projektmanagement), 2 (Entwicklung der Hardware) und 3 (Assistenzsysteme) statt. Die einzelnen Arbeitspakete innerhalb der Hauptarbeitspakete sind in nachfolgendem Abbildung 3 ersichtlich.

Abbildung 3: Arbeitspaketstruktur des Vorhabens *SAFEfly*

Der zeitliche Ablauf des Vorhabens ist in nachfolgenden Gantt-Chart dargestellt (Abbildung 4). Die zeitliche Planung des Vorhabens für den kooperativen Teil konnte im Wesentlichen wie ursprünglich vorgesehen eingehalten werden und musste nur leicht zum Ende des Vorhabens verändert werden (Verlängerung von vier Monaten). Diese Verlängerung war notwendig geworden, da der Genehmigungsprozess für die Aufstiegserlaubnis für die Drohnen im Flugversuch durch die zuständigen Behörden aufwendiger als ursprünglich angenommen war und mehr Zeit in Anspruch nahm. Diese konnten dadurch erst Anfang 2024 stattfinden.

Funkkommunikation und/oder der Funkortung bestimmungsgemäß Funkwellen ausstrahlen und/oder empfangen kann.

Die Richtlinie 2014/53/EU fordert im Wesentlichen allgemein, dass die Sicherheit der Menschen und Tieren gewährleistet und deren Gesundheit geschützt wird, dass die Funkfrequenzen effizient und störungsvermeidend zu nutzen sind und dass ein angemessenes Niveau der elektromagnetischen Verträglichkeit erreicht wird und verweist dazu auch auf die Niederspannungsrichtlinie und die EMV-Richtlinie. Diese Richtlinien machen selbst keine konkreten Aussagen über die technischen Anforderungen und Nachweise, mit denen man diese Forderungen erfüllt und deren Erfüllung nachweist. Sie verweisen jedoch zur Konformitätsprüfung auf harmonisierte Normen und Standards, die für bestehende Produktarten im *Amtsblatt der Europäischen Union* veröffentlicht werden und auf externe Institutionen (*Notified Bodies*), die eine Konformitätsprüfung durchführen können, falls keine harmonisierten Normen auf das Produkt passen. Insbesondere für neue Produkte und Systeme finden sich oftmals keine Produktgruppen, an denen man sich orientieren kann. Hier bleibt meist nur der Weg über eine enge Zusammenarbeit mit Zulassungsbehörden oder akkreditierte Labors, die in der Lage sind, anhand von Analogien Zulassungsanforderungen und deren Nachweise für neue Produkte zu definieren oder bestehende Verfahren sinnvoll zu ergänzen.

Für die Funkanlagen-Richtlinie 2014/53/EU (RED) finden sich die anzuwendenden Normen für europäische Produkte, die als Teil der CE-Prüfungen nachzuweisen sind, unter

https://ec.europa.eu/growth/single-market/european-standards/harmonised-standards/red_de,

für die elektromagnetische Verträglichkeit (2014/30/EU) unter

https://ec.europa.eu/growth/single-market/european-standards/harmonised-standards/electromagnetic-compatibility_de

und für die Niederspannungsrichtlinie (2014/35/EU) unter

https://ec.europa.eu/growth/single-market/european-standards/harmonised-standards/low-voltage_de.

Von diesem Vorgang ausgenommen sind nur solche Produkte, für die bereits anderweitige Richtlinien gelten. Letzteres ist dies u.a. für Luftfahrzeuge sowie Teile und Geräte von Luftfahrzeugen der Fall – diese sind gemäß Anhang 1, Punkt 3, der Richtlinie 2014/53/EU von der CE-Kennzeichnung ausgenommen, sofern es sich um Luftfahrtprodukte handelt, die unter Artikel 3 der Verordnung (EG) 216/2008 benannt sind.

„Erzeugnisse, Teile und Ausrüstungen an Bord von Luftfahrzeugen, die in den Anwendungsbereich des Artikels 3 der Verordnung (EG) Nr. 216/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates (2) fallen“

Artikel 3 Absatz d beschreibt „Teile und Ausrüstungen“ eines Luftfahrzeugs wie folgt:

„ein Instrument, eine Vorrichtung, einen Mechanismus, ein Teil, ein Gerät, eine Armatur, eine Software oder ein Zubehörteil, einschließlich Kommunikations-einrichtungen, der/ die/das für den Betrieb oder die Kontrolle eines Luftfahrzeugs im Flugbetrieb verwendet wird oder verwendet werden soll; dazu gehören

auch Teile einer Flugzeugzelle, eines Motors oder eines Propellers, Vorrichtungen zur Steuerung des Luftfahrzeugs vom Boden aus“

Unter diese Begriffsbestimmung lässt sich auch die in SAFEfly geplante Ausrüstung fassen, weshalb keine CE-Kennzeichnung und zugehörige Konformitätserklärung benötigt wird. Stattdessen sind Luftfahrtzulassungsrichtlinien zu erfüllen.

2.3.2.2. Produktzulassung in der Luftfahrt

Für die Mitgliedstaaten der EU ist die EASA zuständig, die Zulassung von Luftfahrzeugen und deren Ausrüstungen sowie deren Betreibern zu regeln. Ziel ist es, einen einheitlichen, hohen Standard des gesamten Luftverkehrs in Europa hinsichtlich Sicherheit und Umweltverträglichkeit zu gewährleisten. Sofern Luftfahrzeuge und deren Geräte nicht in den Zuständigkeitsbereich der EASA fallen, sind nationale Verwaltungen für den gesetzlichen Rahmen zuständig.

Bezogen auf das in SAFEfly geplante System ist gemäß FSAV eine Zulassung nach „anerkannten Standards als Luftfahrtgerät“ möglich. Anerkannte Standards liegen aber nur für die bekannten Teilfunktionen der Sensorik des DAA-Systems wie Transponder und ADS-B In/Out vor. Generell werden die Zulassungsvoraussetzungen in generischen Beschreibungen von Gerätetypen veröffentlicht, die dann Grundlage des Zulassungsverfahrens sind. So erlässt die amerikanische FAA beispielsweise Technical Standard Orders (TSO), die die Voraussetzungen an eine Geräteklasse beschreibt. Eine TSO verweist in der Regel auf bereits formulierten Anforderungen aus Facharbeitsgruppen – z.B. der RTCA -, die die technischen Anforderungen und deren Nachweis für bestimmte Geräte und Funktionen in veröffentlichten Dokumenten beschreibt (z.B. in den „RTCA DO-x“). Das europäische Pendant zur TSO ist eine ETSO (European TSO). Zur RTCA vergleichbare Arbeitsgruppen finden sich in Europa z.B. in der EUROCAE, die zur RTCA DO-x vergleichbare Dokumente als „EUROCAE ED-x“ veröffentlicht. Häufig entsprechen sich die amerikanischen und europäischen Richtlinien für einzelne Gerätetypen weitgehend, um eine weltweite Interoperabilität der Geräte zu fördern.

Die folgende Abbildung zeigt die erforderlichen rechtlichen Anforderungen an die technischen Unterlagen und Dokumentationen, die während eines Entwicklungsprozesses für ein Luftfahrtprodukt zu erzeugen sind und die auf veröffentlichte Regularien (Vorschriften) und Standards (Normen) verweisen und die belegen, dass die dort ausgewiesenen Anforderungen eingehalten wurden.

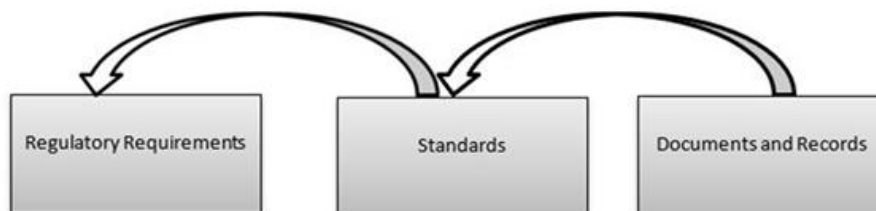


Abbildung 5: Nachweis der Compliance

Der Begriff "technische Dokumentation" bezieht sich auf alle Dokumente, die ein Hersteller von Luftfahrzeuggeräten erzeugen und einreichen muss. Die technische Dokumentation ist eine Voraussetzung für die Bewertung und damit für die Zulassung von Luftfahrzeuggeräten. Eine Bewertung ist häufig in zwei Teile unterteilt: die Bauteilbewertung und die Gebrauchstauglichkeitsbewertung.

2.3.2.2.1. Ausrüstung und Einbauvorschriften

Wenn eine Ausrüstung in ein musterzugelassenes Luftfahrzeug eingebaut werden soll, müssen hauptsächlich zwei Arten von gesetzlichen Anforderungen erfüllt werden:

1. die Ausrüstung muss zugelassen sein
2. die Anlage selbst muss zugelassen sein

Diese beiden Anforderungen sind unterschiedlich und dürfen nicht vermischt werden.

Die in den folgenden Kapiteln beschriebenen Anforderungen beziehen sich auf Vorschriften für EASA-Luftfahrzeuge, d. h. Luftfahrzeuge, die in einem EASA-Mitgliedstaat registriert, konstruiert oder hergestellt wurden oder deren Betreiber in einem EASA-Mitgliedstaat ansässig ist. Luftfahrzeuge, die in Anhang II der Grundverordnung aufgeführt sind, sind nicht betroffen, z. B. militärische, historische und ultraleichte Luftfahrzeuge.

Die EASA-Vorschriften gelten sowohl für Motorflugzeuge als auch für Segelflugzeuge. Die Anzahl der Triebwerke, auch ohne, hat keinen Einfluss auf die Einbauvorschriften.

2.3.2.2.2. Teilezulassung

Die erste Anforderung betrifft die Zulassung der Ausrüstung selbst. Sie berücksichtigt nicht das spezifische Luftfahrzeug, in das die Ausrüstung eingebaut werden soll.

Die Teilezulassung ist geregelt in: Anhang 1 (Teil-21) der Verordnung (EU) Nr. 748/2012

- Lufttüchtigkeit und Umweltzertifizierung
- Unterabschnitt K Teile und Ausrüstungen

Normalerweise werden Ausrüstungen in ein Luftfahrzeug eingebaut, weil es eine Anforderung dafür gibt. Beispiele sind Transponder, Funkgeräte und Höhenmesser. Vorgeschriebene Ausrüstungen müssen mit einer Europäischen Technischen Standardverordnung (ETSO) übereinstimmen.

Unabhängig von der ETSO-Anforderung ist ein Nachweis erforderlich, dass das Teil gemäß den genehmigten Konstruktionsdaten hergestellt wurde. Dies wird als autorisierte Freigabebescheinigung oder EASA-Formblatt 1 bezeichnet. Durch die Ausstellung eines EASA-Formblatts 1 für jedes einzelne Teil bescheinigt der Hersteller, dass das Teil gemäß den Anweisungen des Konstrukteurs des Teils hergestellt wurde. In der Regel sind Teile mit einem Formblatt 1 für den Einbau zugelassen.

Wenn ein Gerät nicht mit einem EASA-Formblatt 1 geliefert wird, gibt es zwei in Teil 21 vorgeschriebene Ausnahmen. Standardteile und Teile, die in Flugzeuge mit einem MTOW von nicht mehr als 2.000 kg (ELA2-Flugzeuge) eingebaut werden. Bei

Segelflugzeugen und Motorseglern gilt grundsätzlich alles, was nicht zur vorgeschriebenen Ausrüstung gehört, als Standardteil. Für Motorflugzeuge mit einem MTOW von nicht mehr als 2.000 kg gilt die andere Ausnahme. Der Unterschied zwischen den beiden Ausnahmen liegt im administrativen Bereich: Bei Motorflugzeugen muss der Eigentümer ein Dokument unterschreiben, dass er die Verantwortung für den Einbau in sein Flugzeug übernimmt. Für Segelflugzeuge ist ein solches Dokument nicht erforderlich. Für Luftfahrzeuge, die nicht unter eine der Ausnahmen fallen, d.h. Motorflugzeuge über 2.000 kg und Hubschrauber, kann die EASA Ausrüstungen genehmigen, ohne dass das Formblatt 1 als Teil einer individuellen Genehmigung für geringfügige Änderungen (MCA) eingebaut wird. Es ist wichtig zu beachten, dass nur weil ein Teil ein EASA-Formblatt 1 besitzt oder unter eine der Ausnahmen fällt, dies nicht bedeutet, dass das Teil in ein bestimmtes Flugzeug eingebaut werden kann. Zu diesem Zweck muss auch der Einbau selbst genehmigt werden.

2.3.2.2.3. Einbaugenehmigung

Wird eine zusätzliche Ausrüstung in ein Luftfahrzeug eingebaut, ändert sich das Luftfahrzeug und die Grundlage für seine Musterzulassung. Es liegt in der Verantwortung des Einbaubetriebes sicherzustellen, dass der Einbau sicher ist und das Luftfahrzeug auch nach der Änderung den Spezifikationen der Anwendungszulassung entspricht. Eine solche Änderung muss normalerweise von der EASA genehmigt werden. Dies ist in Part-21 Subpart D geregelt.

Änderungen werden in zwei Klassen unterschieden: Minor Changes und Major Changes. Geringfügige Änderungen erfordern eine Genehmigung für geringfügige Änderungen (Minor Change Approval, MCA), während größere Änderungen eine ergänzende Musterzulassung (Supplemental Type Certificate, STC) erfordern.

Eine geringfügige Änderung besteht aus zwei Teilen: Entwurf und Genehmigung. Zunächst muss der Einbauer den tatsächlichen Einbau unter Berücksichtigung der geltenden Zertifizierungsspezifikationen und des spezifischen Luftfahrzeugs planen. Die Anweisungen zur Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit müssen aktualisiert werden, und es muss eine Ergänzung zum Flughandbuch (Aircraft Flight Manual Supplement, AFMS) erstellt werden. Dieses enthält die vom Hersteller definierten Beschränkungen, die vom Hersteller definierten Einbauanweisungen/-anforderungen und die vom Hersteller definierten Anweisungen zur Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit. Ein Antrag mit all diesen Dokumenten muss dann bei der EASA eingereicht werden, um (eventuell) eine MCA zu erhalten.

Als Alternative zum MCA-Genehmigungsverfahren können bestimmte Anlagen als Standardänderung (SC, SC-STAN) durchgeführt werden. Der Konstruktionsteil der Änderung ist nach wie vor erforderlich, aber anstelle einer Einzelgenehmigung hat die EASA bestimmte Anlagen unter vorgeschriebenen Bedingungen vorab genehmigt. Ein SC ändert nichts an den Arbeiten, die erforderlich sind, um

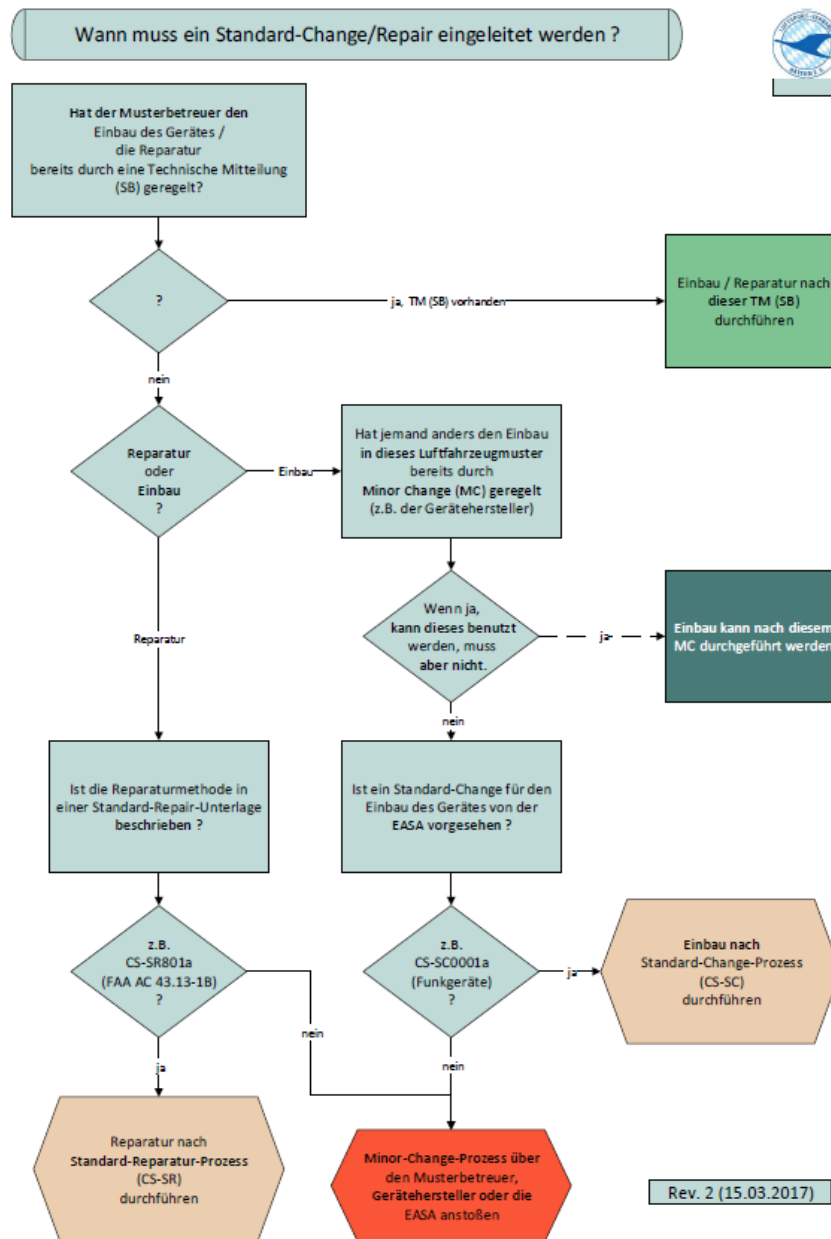
- die Anlage zu konstruieren,
- die erforderlichen Aktualisierungen der Anweisungen für die Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit zu bewerten und
- zur Erstellung des AFMS.

Ein SC ersetzt lediglich das Genehmigungsverfahren, nicht aber die Konstruktionsanforderungen. Ein SC ermöglicht es den Installateuren (Pilot-Owner), ihre eigene Arbeit durchzuführen und zum Teil auch zu genehmigen. Standard Changes soll den Verwaltungsaufwand bei der Installation gängiger Ausrüstung verringern, ohne die Sicherheit zu beeinträchtigen. Jede Installation, die mit einem MCA oder SC durchgeführt wird, muss durch ein Certificate of Release to Service (CRS) freigegeben werden. Instandhaltungsbetriebe nach Part-M sind berechtigt, eine CRS auszustellen, wenn sie die ordnungsgemäße Durchführung des Einbaus überprüft haben.

Der Einbau in die Fluggeräte kann erleichtert werden, wenn nur noch Minor Changes gefordert werden oder ein Einrüstpfad nach CS-STAN aufgezeigt würde. Für portable Geräte würde sich das sogar auf feste installierte Teilkomponenten wie Antennen reduzieren. Alternativ sind die Vorgaben von FAA AC 25-10, 25-16, 43.13-1b zu prüfen.

Die CS-STAN definiert einige Standardkomponenten, die auf vereinfachte Art (als über die beschriebenen Möglichkeiten per MCA oder über ein Form-1) installiert werden können und deren Installation anschließend von einem Avionik-Prüfer oder einem LTB abgenommen werden. Diese Art der Installation ist für einfach austauschbare Standardkomponenten wie Sprechfunkgeräte, Transponder aber auch Flarm-Geräte vorgesehen. Dabei wird auf die einschlägigen Vorschriften verwiesen, wie z.B. elektrische Arbeiten auszuführen sind, und es werden für jeden Einrüstfall spezifische Vorgaben zur Ausführung der Arbeiten und der Dokumentationserstellung erteilt. Die besondere Erleichterung einer Einrüstung über CS-STAN liegt im Verzicht auf die Einbindung der Zulassungsstellen für die dort aufgeführten Standardkomponenten, so dass die Tätigkeiten rasch und unbürokratisch ausgeführt werden können.

Eine Übersicht über den Vorgang liefert nachfolgendes beispielhaftes Flussdiagramm (von AOPA, https://www.daec.de/media/files/2012/fachbereiche/luftfahrttechnik/Uebersetzung/CS-STAN/Beispiele/CS-STAN__FLarm__Beispiel.pdf, abgerufen 21.02.2023):



Bei ULs liegt der Einbau in der Verantwortung für viele Änderungen beim Halter.

Für Drohnen gilt gemäß der deutschen Luftverkehrszulassungsordnung (LuftVZO) sind unbemannte Flugmodelle ab 25kg höchstzulässigem Gesamtgewicht über eine Muster- oder Einzelstückzulassung - ab 150kg über eine Verkehrszulassung - zuzulassen. Diese wird vom Luftfahrtbundesamt erteilt, sofern die Lufttüchtigkeit nachgewiesen wird.

2.3.2.2.4. Flugsicherungsanforderungen

Die für die sichere Durchführung eines Fluges notwendige Flugsicherungs-ausstattung ist gemäß dem Bundesministerium für Verkehr in Deutschland in der Flugsicherungs-ausrüstungsverordnung (FSAV) aufgeführt. Dort finden sich die Vorgaben für die

notwendige Ausstattung - unterschieden nach Flugregeln (IFR, VFR) und den Lufträumen, in denen der Betrieb eines Luftfahrzeugs stattfinden soll. Allgemein gilt (§2 Abs. 1 der FSAV):

„Die Flugsicherungs-ausrüstung der Luftfahrzeuge darf nur aus Anlagen, Geräten und Baugruppen bestehen, die auf Grund ihrer Eigenschaften und Leistungen unter Beachtung der festgelegten Verwendungsgrenzen einen zuverlässigen Betrieb gewährleisten und nach international anerkannten Standards als Luftfahrtgerät zugelassen sind. Darüber hinaus muss die Flugsicherungs-ausrüstung für den jeweiligen Verwendungszweck dem geltenden aktuellen Stand der Technik entsprechen.“

Der Betrieb von Luftfahrzeugen ist neben der o. a. Zulassung also auch von der Ausrüstung abhängig, die in den unterschiedlichen Lufträumen benötigt werden.

2.3.3. Entwicklung der Hardware für den zentralen Bordrechner

2.3.3.1. Anforderungen bei SAFEfly

Aus den übergeordneten Ausführungen zur Zulassung von Luftfahrzeugen und deren Ausrüstungen können nun konkrete Ableitungen für den vorliegenden Fall im Projekt SAFEfly erfolgen. Diese sind nach dem jeweiligen technischen Zweck der Komponente gegliedert.

2.3.3.1.1. Kooperativer Teil der Sensorbox (Funktionen)

Für die identifizierten Sensoren des kooperativen Systems kann auf Zulassungsrichtlinien (ETSO) zurückgegriffen werden, die für Einzelgeräte dieser Art bereits existieren. Dies betrifft die Komponenten Mode A/C/S-Transponder, ACAS, ADS-B, GPS und den Encoding Altimeter.

Nach der FSAV gilt:

„Für folgende Flüge nach Sichtflugregeln müssen Luftfahrzeuge mit einem Sekundärradar-Antwortgerät (Transponder) ausgerüstet sein:

- 1. Flüge in Lufträumen der Klassen C sowie D (nicht Kontrollzone),*
- 2. Flüge in Lufträumen mit vorgeschriebener Transponderschaltung (Transponder Mandatory Zone - TMZ),*
- 3. Flüge bei Nacht im kontrollierten Luftraum,*
- 4. Flüge mit motorgetriebenen Luftfahrzeugen, ausgenommen in der Betriebsart Segelflug, oberhalb 5.000 Fuß über NN oder oberhalb einer Höhe von 3.500 Fuß über Grund, wobei jeweils der höhere Wert maßgebend ist.*

Der Transponder muss über den Abfragemodus A mit 4096 Antwortcodes und den Abfragemodus C mit automatischer Höhenübermittlung verfügen. Spätestens ab dem 31. März 2005 für neue Luftfahrzeuge und ab dem 31. März 2008 für alle Luftfahrzeuge ist für den Transponder die Mode-S-Technik gemäß gültigem internationalem Standard (mindestens Level 2 mit SI-Code und Elementary Surveillance (ELS) Funktionalität) erforderlich.“

In der NFL 1-1197-17, gültig ab 01. Januar 2017, wird zum Betrieb von UAS in Kontrollzonen die Auflage formuliert, dass ein zertifizierter Transponder mitgeführt werden und die Kommunikation von ATC zum Piloten sichergestellt sein muss. Für Flüge nach Instrumentenflugregeln ist ein Mode-S-Transponder und bei größeren LFZ auch ein ACAS II-Gerät grundsätzlich mitzuführen.

Die Zulassungsanforderungen der Einzelfunktionen können den für die bekannten Funktionen entnommen werden (im Folgenden ist jeweils die amerikanische Zulassungsrichtlinie aufgeführt):

- GNSS-Sensor (GPS-Empfänger) nach TSO-C129 (RTCA/DO-208) bzw. TSO-C146d (Stand-Alone, RTCA/DO-229D)
- Kodierender Barohöhenmesser nach TSO-C88b (SAE AS 8003)
- Mode-S-Transponder nach TSO-C112e (RTCA/DO-181E)
- ADS-B-Out nach C-166b (RTCA/DO-260B)
- ADS-B-In nach TSO-C166b und, falls eine Verkehrsanzeige erfolgen soll, auch TSO-C195b (RTCA/DO-317B)
- TCAS II nach TSO-C119d (RTCA/DO-185B) bzw. ACAS Xu (wenn verfügbar)

2.3.3.1.2. Besonderheiten bei ADS-B

Der Nutzen von ADS-B zur Verbesserung der gegenseitigen Sichtbarkeit ist weitgehend anerkannt. Zurzeit wird – von der EASA initiiert – geprüft, welche operationellen Konzepte mit vereinfachten ADS-B-Sendern umgesetzt werden könnte und für welche Luftverkehrsteilnehmer der Allgemeinen Luftfahrt diese Geräte sinnvoll eingesetzt werden können [RD1]. Dabei werden auch die üblichen, wenn auch einfacheren Zulassungsmöglichkeiten, z. B. in Anlehnung an die TSO-C199 (TABS), aber auch die CAPS1391 auf Anwendbarkeit für bestimmte Funktionen geprüft. Im Vordergrund stehen die Vermeidung von Mid-Air-Collision, von Luftraumverletzungen, aber auch die Versorgung von umfangreicheren Verkehrsdaten für die Verbesserung der bodengebundenen Dienste der ANSPs für die Einsatzzwecke GA ATC (heutige ACAS-fähige Transponder plus ADS-B), GA CA&FIS (COTS-basierte Transponder plus ADS-B mit Barohöhenmesser, GA Traffic Alert & FIS (COTS-basierte ADS-B-Sender mit Barohöhenmesser). Der Zusatz COTS-basierte ermöglicht den Einsatz von handelsüblichen Produkten, die einer verringerten Eignungsprüfung unterliegen und dadurch kostengünstig angeboten werden – diese Eignungsprüfung kann in Anlehnung an die TSO/ETSO C199 (TABS) durchgeführt werden.

Sorge bereitet hingegen die Überlastung der 1090 MHz-Frequenz. Um dem entgegenzuwirken, wenn sich viele neue Nutzer auf dieser Frequenz zuschalten, sind verschiedene Verfahren in der Diskussion. Eines davon ist die Reduzierung der Ausgangsleistung des Senders auf Werte, die deutlich unterhalb der bisher geforderten Minderleistung von 70W liegen.

2.3.3.1.3. Conspicuity Devices nach CAP1391

Die englische CAA hat mit der CAP 1391 eine Richtlinie veröffentlicht, wie ein kostengünstiges, tragbares und mit verringerter Leistung ausstrahlendes ADS-B-Gerät aussehen muss, damit es in bestimmten Lufträumen im Zuständigkeitsbereich der CAA verwendet werden kann. Mit dieser Richtlinie soll der breite Einsatz von ADS-B gefördert werden, ohne dass der Betrieb der bestehenden Geräte beeinträchtigt wird.

Ähnliche Überlegungen und Untersuchungen gibt es auch bei der DFS in Deutschland, um Aussagen über den zukünftigen möglichen Einsatz von schwach ausstrahlenden ADS-B-Geräten ableiten zu können.

Basierend auf den Beschreibungen für diese „Electronic Conspicuity Devices“ nach der CAP 1391 können vereinfachte Geräte für die kleinen UAS ausgelegt werden, die sich dann wie Sportfluggeräte in die Luftverkehrsstruktur einordnen. Leider ist diese Richtlinie bisher noch nicht außerhalb des Zuständigkeitsbereichs der CAA von anderen Behörden übernommen worden, so dass diese vereinfachte Gerätezulassung bislang noch auf den britischen Bereich beschränkt ist. Für den deutschen Bereich gilt daher zunächst weiter, dass keine Geräte unter 70W Ausstrahlleistung betrieben werden dürfen.

2.3.3.1.4. Alternative Funkverfahren

Noch unklar sind die Anforderungen an die Lufttüchtigkeit für die Funktionen

- GSM-Kommunikation
- WLAN oder Bluetooth-basiertes ADS-B
- Und generell das Verhalten beim Wechsel der Modi und der Kommunikationskanäle

Empfehlenswert wäre in diesem Fall, die harmonisierten Normen der Europäischen Union zu erfüllen, die das gewünschte EMV-Verhalten bestimmter Klassen von Funkanlagen festlegen. Hierzu finden sich Anforderungen in der EN 300 440-2 (Short Range Devices im Bereich 1 bis 40 GHz), EN 301 489-1 (EMC for Radio Equipment and Services) und EN 301 489-3 (Short Range Devices im Bereich von 9kHz bis 246 GHz).

Mit der ETSO-514 werden Anforderungen an „Non-Required Telecommunications Services in Non-Aeronautical Frequency Bands“ formuliert, die auch für die hier vorliegende Aufgabe anwendbar sind. Die hierzu notwendigen Hardware-Vorgaben werden über die DO-160E Umweltests erfasst, bezüglich Telekommunikation wird auf die dem Einsatzgebiet jeweils geltenden Telekommunikationsvorgaben verwiesen – hier also die EU und die Vorgaben der Netzbetreiber, s.o. Die Richtlinie unterscheidet zwei Klassen für die Nutzung der Telekommunikationseinrichtung, in diesem Fall wäre die Class 2 zu wählen als Equipment, das in allen Flugphasen arbeitet. Der Einbau der Geräte soll sich an den Vorgaben der FAA AC 25-10, 25-16, 43.13-1b orientieren. Diese ETSO

behandelt Nicht-Erforderliches Equipment und fokussiert daher auf die Vermeidung von Interferenzen mit anderem Bordequipment. Solange jedoch andere Vorgaben noch ausstehen, kann man zumindest hiermit beginnen.

2.3.3.1.5. Detect And Avoid in unbemanntem Verkehr

Für die Gesamtheit der DAA-Funktion bei Drohnen gibt es mit der RTCA DO-365 (und auch in [RD2]) eine erste Beschreibung für einen Detect-and-Avoid-Prozessor für UAS, die nach IFR-Regeln Teile des zivil genutzten Luftraums (NAS) durchschreiten (Lufträume D, E, G). Für den Sensor-Teil eines DAA-Systems können die o.a. Beschreibungen herangezogen werden, weitere Teile eines Gesamtsystems (z.B. ein C2-Datenlink) sind dort nicht hinreichend beschrieben.

Weitergehende und auf den vorab beschriebenen Sensoriken aufbauende Detect-and-Avoid-Elemente und -Mechanismen zur Sicherstellung der Einhaltung von Ausweichregeln werden in der RTCA/DO-365 für kooperative Systeme festgelegt. Dabei werden die o.a. Komponenten aufgegriffen, da sie im kooperativen Fall die Standardortinformationen und deren Änderungen eines Intruders liefern. Ergänzt wird dies durch nicht-kooperative Sensoren, z.B. Radar. An Bord des UAS werden diese Sensordaten in einem DAA-Modul bewertet und für flugführende Hinweise aufbereitet (Intruder Tracking, DAA Alerting, Guidance). Hierzu wird angenommen, dass das UAS eine Turn Rate von 1,5 bis 3°/sec durchführt und eine Fluggeschwindigkeit zwischen 60 und 250 KTAS einnimmt (250 KT ist als Maximalgeschwindigkeit unterhalb 10.000 FT festgelegt). Sofern es langsamer (40 KTAS) oder schneller fliegt (bis 600 KTAS bei Flughöhen über 10.000 FT) müssen höhere Turn Rates erzielt werden können. Als Steig- und Sinkrate werden mindestens 500 FT/Min vorausgesetzt. Für kooperative Intruder werden unterhalb 10.000 ft Geschwindigkeiten bis 291 KTAS angenommen (170 KTAS für nicht-kooperative), oberhalb von 10.000 FT ebenfalls bis zu 600 KTAS. Die „kooperativen Ausrüstung“ des Intruders wie Transponder und ADS-B-Sender erfüllen die o.a. Richtlinien – sind also typische, zugelassene Geräte. Das DAA-Equipment wird grob unterteilt in eine Geräte-Klasse „Basic“ und eine mit TCAS-II-Funktion. Die DAA-Funktion errechnet eine räumliche/zeitliche DAA Well Clear Zone um das Ownship herum, die bei Unterschreiten durch einen Intruder zu unterschiedlichen Warnungen und Führungshinweisen führt, um ein Wiederherstellen der Well-Clear Zone zu erreichen.

In vergleichbarer Weise wird eine DAA-RWC-Funktion (Remain Well Clear) in [RD2] beschrieben und Hinweise für ein Ausweichen gemäß den bekannten Ausweichregeln gegeben. Die kooperativen Sensoren umfassen die schon erwähnten Elemente, allerdings auch eine Empfehlung für das Empfangen von Mode A/C-Transpondern und FLARM.

2.3.3.2. Zentraler Bordrechner – Hardware

Für den zentralen Bordrechner, der in seiner Grundversion nur die Plattform bildet, auf der die Assistenzsysteme laufen sollen, kann daher für die Grundversion keine applikativen Zulassungsrichtlinien herangezogen werden. Diese erlangen erst später eine Bedeutung, wenn durch die Applikation die Nutzung des Geräts feststeht. Dadurch rücken zunächst die hardwarebezogenen Zulassungsrichtlinien in den Vordergrund.

Als flugtaugliche Hardwareplattform werden Geräte angesehen, die die Umweltbedingungen nach den Vorgaben der RTC DO-160 bzw. der ED-14 bestehen (EMV, klimatische Anforderungen sowie chemische, biologische und mechanische Festigkeit). Hierzu werden die Vorgaben und Erfüllungskriterien und Testkurven auf die Zielsysteme (UAS) geprüft und festgelegt. Diese sind anhand von auszuwählenden Kriterien, die vom Einbau und Nutzungsfall abhängen, festzulegen. Die in der Regel durch Testlabors nachzuweisende Einhaltung der festgelegten Kriterien und Grenzwerte sind für Kunden des Produkts sichtbar zu machen. Darüber kann dann beim Einbau geprüft werden, ob die benötigten Eigenschaften des Produkts vorliegen. Nachfolgende Tabelle gibt ein auf dieses Projekt konkretisierte RTCA DO-160G Spezifikation (Tests in der jeweils angegebenen Kategorie und den zugehörigen Testkurven und Schwellwerte) für die nachzuweisenden Hardware-Eigenschaften des zentralen Bordrechners:

Variable	Section	Category	Remark / Values
Temperature / Altitude	4.0	C1	-20 - + 55°C
Low Ground Survival Temperature	4.5.1	C1	-55°C
Low short Time Operating Temperature	4.5.1	C1	-40°C
Low Operating Temperature	4.5.2	C1	-20°C
High Ground Survival Temperature	4.5.3	C1	+85°C
High short Time Operating Temperature	4.5.3	C1	+70°C
High Operating Temperature	4.5.4	C1	+55°C
In Flight Loss of Cooling	4.5.5	Z (no cooling)	Z
Altitude	4.6.1	C1	35.000 ft
Temperature variation	5.0	B	5°/min
Humidity	6.0	A	
Shock and crash safety	7.0	B	6g /20g
Vibration	8.0	R (robust vibration Fixed Wing)	Curve Y
Magnetic effect	15.0	Z	1° / 0,3m
Power input (DC)	16.0	B	14V / 28V
Voltage (Average Value)	16.6.1.1	B	11,0 – 30,3 VDC
Ripple Voltage	16.6.1.2	B	
Momentary Power Interruptions	16.6.1.3	B	1-4, 9, 10, 16-19
Normal Surge voltage	16.6.1.4	B	
Engine Starting Undervoltage	16.6.1.4	B	
Voltage Steady State DC Section	16.6.2.1	B	
Low Voltage Conditions DC Section	16.6.2.2	B	
Momentary Undervoltage Condition	16.6.2.3	B	
Abnormal Surge Voltage	16.6.2.4	B	

Voltage Spikes Conducted	17.0	B	
Audio Frequency Conducted Susceptibility	18.0	B	
Induced Signal Susceptibility	19.0	BC	after CE Test
Radio Frequency Susceptibility	20.0	T/T	after CE Test
RF Susceptibility Conducted	20.4	fig. 20-6	after CE Test
RF Susceptibility Radiated	20.5	fig. 20-10	after CE Test
Emission of radio frequency energy	21.0	M (excl. op frq)	
ESD	25.0	A	
Sections 9.0 / 10.0 / 11.0 / 12.0 / 13.0 / 14.0 / 22.0 / 23.0 / 24.0 / 26.0			no tests

Falls - wie in für die Drohnen vorgesehen – eine Mobilfunkkomponente eingesetzt werden soll kämen folgende Testforderungen der Radio Equipment Directive (2014/53/EU§3.2) hinzu:

EN 300 220-1 2: 2017	Short Range Devices (SRD) operating in the frequency range 25 MHz to 1000 MHz - Part 1: Technical characteristics and methods of measurement.
EN 300 220-2 v3.2.1:2018-06	Funkanlagen mit geringer Reichweite (SRD), die im Frequenzbereich 25 MHz bis 1 000 MHz arbeiten - Teil 2: Harmonisierte Norm zur Nutzung von Funkfrequenzen für unspezifische Funkgeräte
EN 300 220-3-1 V2.1.0 (2016-05)	Short Range Devices (SRD) operating in the frequency range 25 MHz to 1 000 MHz; Part 3-1: Low duty cycle high reliability equipment, Social Alarms Equipment operating on designated frequencies (869,200 MHz to 869,250 MHz)
EN 300 328 v2.1.1 2016-11	Wideband transmission systems; Data transmission equipment operating in the 2,4 GHz ISM band and using wide band modulation techniques
EN 300 440: 2018;	Short Range Devices (SRD) - Radio equipment to be used in the 1 GHz to 40 GHz frequency range - Harmonized Standard for access to radio spectrum .
EN 303 413: 2021	Satellite Earth Stations and Systems (SES) - Global Navigation Satellite System (GNSS) receivers - Radio equipment operating in the 1 164 MHz to 1 300 MHz and 1 559 MHz to 1 610 MHz frequency bands - Harmonized Standard for access to radio spectrum.
EN 301 489-1 v2.1.1 2016-11	Electro Magnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 1: Common technical requirements
EN 301 489-3 v2.1.1 2017-03	Electro Magnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services;

	Part 3: Specific conditions for Short-Range Devices (SRD) operating on frequencies between 9 kHz and 246 GHz
EN 301 489-17 v3.1.1 2017-02	Electro Magnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 17: Specific conditions for Broadband Data Transmission Systems
ETSI EN 301 489-19 V2.1.1 (2019-04)	ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 19: Specific conditions for Receive Only Mobile Earth Stations (ROMES) operating in the 1,5 GHz band providing data communications and GNSS receivers operating in the RNSS band (ROGNSS) providing positioning, navigation, and timing data; Harmonized Standard covering the essential requirements of article 3.1(b) of Directive 2014/53/EU

Zusätzlich müssten gemeinsame EMV-Anforderungen nachzuweisen sein:

EN 61000-4-2: 2009	Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-2: Testing and measurement techniques - Electrostatic discharge immunity test
EN 61000-4-3:2006 + A1:2008 +A2:2010	Testing and measurement techniques- Radiated, radio-frequency – Part 4-3: Electromagnetic field immunity test.
EN 61000-4-4: 2012	Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-4: Testing and measurement techniques - Electrical fast transient/burst immunity test.
EN 61000-4-5: 2014	Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-5: Testing and measurement techniques - Surge immunity test.
EN 61000-4-6: 2014	Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-6: Testing and measurement techniques - Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields
EN 61000-4-8: 2009	Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-8: Testing and measurement techniques - Power frequency magnetic field immunity test
EN61000-4-29	Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-29: Testing and measurement techniques; Voltage dips, short interruptions and voltage variations on d.c. input power port immunity tests.
EN 55032, 2021	Emission Requirements for Multimedia Equipment §13.1 Radiated
EN 55032, 2021	Emission Requirements for Multimedia Equipment §13.2 Conducted

Die o.a. Anforderungen führten dann zu nachfolgendem Blockdiagramm (Abbildung 6) und erstem, groben Designvorschlag (Abbildung 7) mit schematischen Aufbau der Einheit.

Board-Rechner, Komponenten

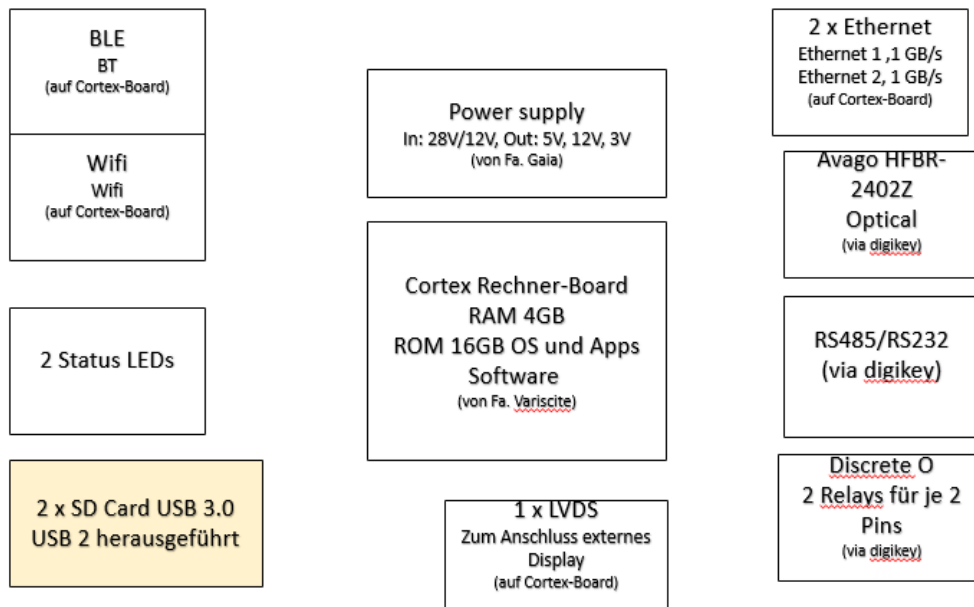


Abbildung 6: Blockdiagramm Bordrechner

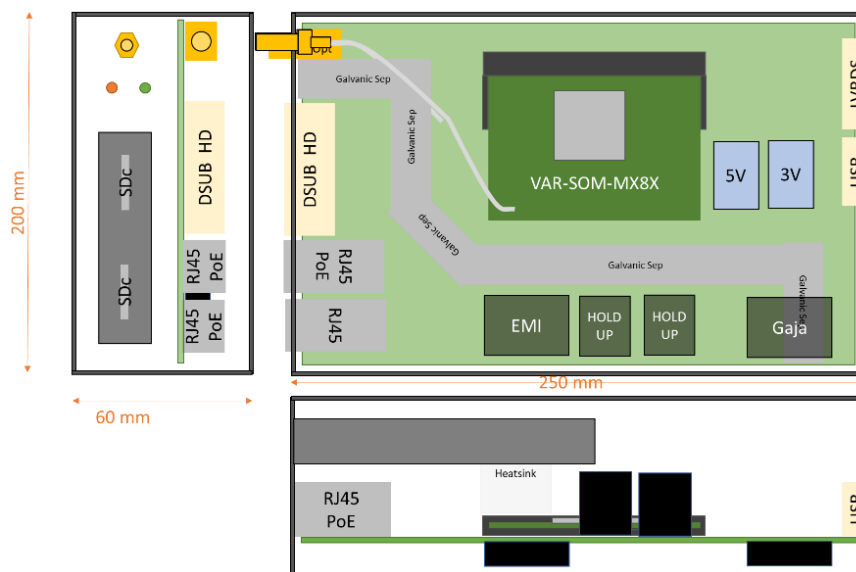


Abbildung 7: Auslegung der Hauptplatinen des Bordrechners

Mit diesem Ansatz wurden zwei Bordrechner (Funktionsdemonstratoren) aufgebaut sowie drei weitere Exemplare vorbereitet, die für den späteren Projektverlauf vorgesehen waren. Aufgrund der der Corona-Pandemie nachgelagerten Schwierigkeit der Belieferung von elektronischen Bauteilen konnten nicht alle Platinen vollständig bestückt werden. Die für die Grundfunktion benötigten Bauteile konnten jedoch mit etwas

Aufwand beschafft und auf die Platinen aufgebracht werden. Besonderes Augenmerk wurde auf die elektrische Entkopplung der Schnittstellen gelegt, um EMV-Probleme zu minimieren und die anzubindenden externen Komponenten rückkopplungsfrei verbinden zu können.

Ein weiterer zentraler Punkt war die Auslegung einer für Luftfahrzeuge geeignete Stromversorgung, welche aus den üblichen unterschiedlichen Versorgungsspannungen, die in den verschiedenen Luftfahrzeugtypen vorgefunden werden, die notwendigen internen Spannungen in der benötigten Qualität erzeugt. Dies wurde durch die Wahl von geeigneten Bauteilen und deren Anordnung und Verknüpfung auf dem Bord erreicht.

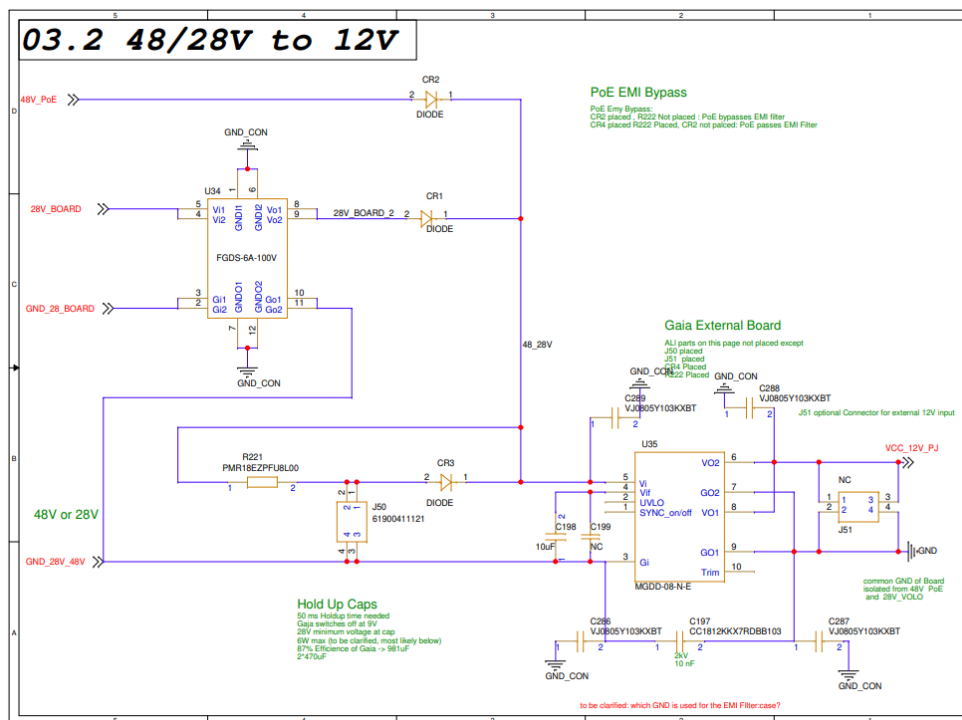


Abbildung 8: Auslegung der Stromversorgung des Bordrechners

Als zentrales Rechnermodul wurde das Modul VAR-SOM-MX8X NXP i.Mx8X des Hersteller *Variscite* ausgewählt. Diese Auswahl erfolgte aufgrund der langfristigen Verfügbarkeit dieser Module und da diese trotz erhöhter Qualitätsanforderungen in den für die Allgemeine Luftfahrt sensitiven Preisrahmen passen. Technisch waren insbesondere die vielen unterschiedlichen Schnittstellen des Moduls überzeugend sowie die starke Leistungsfähigkeit des 4 x 1.2 GHz ARM-Prozessors, so dass die ressourcenfordernde Assistenzsysteme lauffähig sind. Darüber hinaus erlauben die Robustheit und Temperaturbeständigkeit des Moduls den Einsatz in den unterschiedlichen Luftfahrzeugen. Dieses Rechner-Modul wurde auf die Hauptplatine als Steckmodul integriert.

Abbildung 9: Rechnermodul des Hersteller *Variscite*

Nach dem Design der Hauptplatine und der Festlegung der Rechnerdimensionen konnte anschließend das Gehäuse ausgelegt werden, wobei die Anforderungen an Gewicht, EMV-Verhalten, mechanischer Stabilität und Wärmeabfuhr sowie den Möglichkeiten des Zusammenbaus berücksichtigt wurden. Als Material wurde ein Aluminiumblech gewählt, das in zwei Hauptschalen umgeformt wurde und mit Schraubverbindungen verbunden wird.

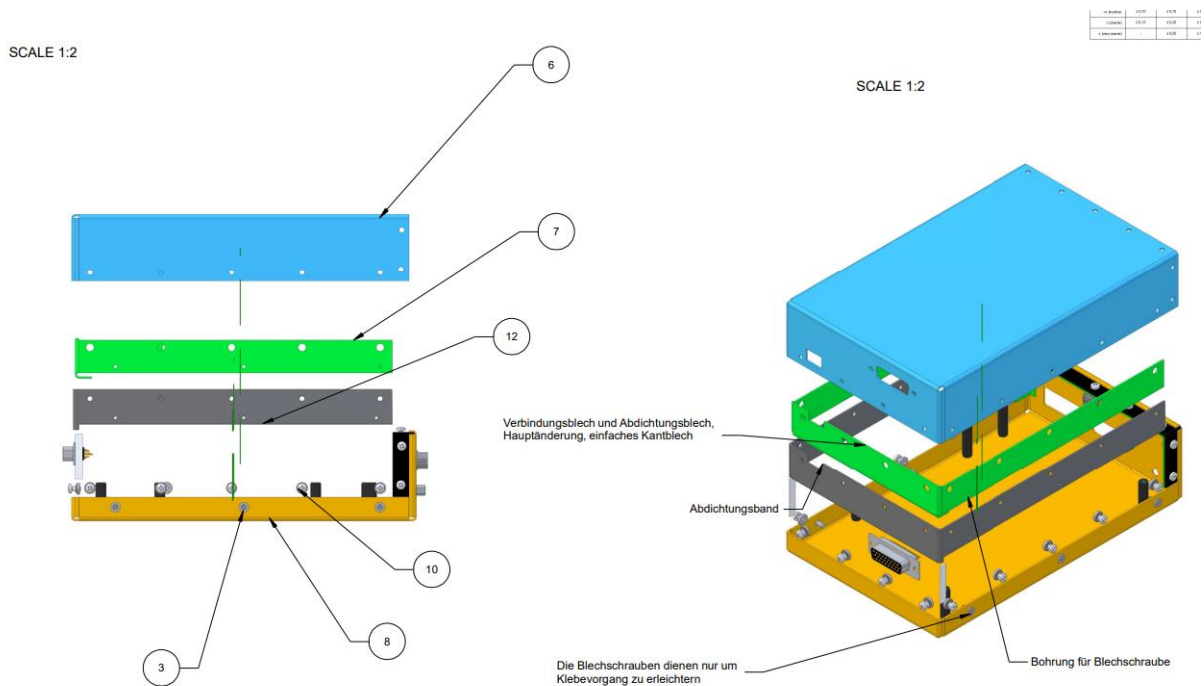


Abbildung 10: Gehäuse-Design

Nach Fertigstellung aller Hardware-Komponenten konnten zwei vollständige Bordrechner aufgebaut werden (Abbildung 11), von denen einer der beiden Exemplar später im Versuchsflugzeug integriert wurde. Bis zum Einbau wurde es wie die das andere Exemplare und die halbfertigen Geräte für die Software-Entwicklungsarbeiten im Labor genutzt.

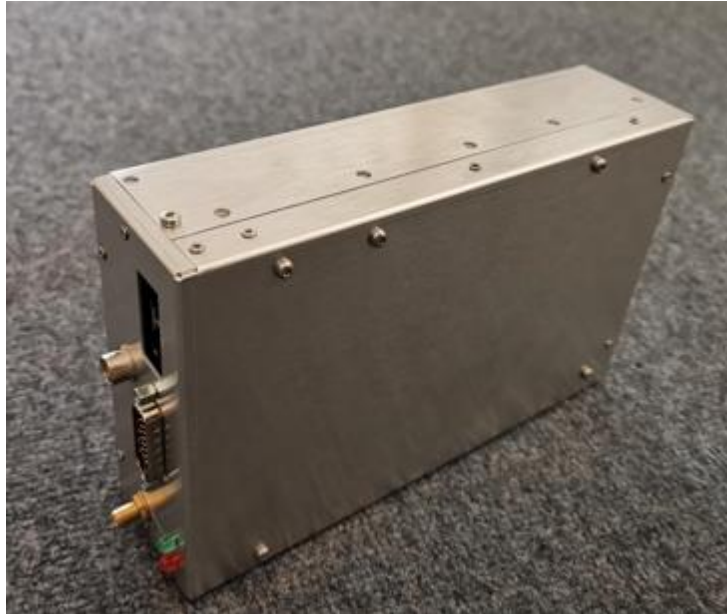


Abbildung 11: fertig aufgebauter, zentraler Bordrechner

Für den Anschluss von Sensoren wurde seitens der TUB eine Sensorbox gefertigt. Diese beinhaltet den LIDAR-Anschluss und die Kommunikation via ADS-B und den FLARM-Zugang über das angeschlossene FAV-Gerät TM350. Das Gehäuse der Sensorbox ist mithilfe eines 3D-Druckers entstanden (Abbildung 12).

Eine vergleichbare Sensorbox ist für die Drohnen erarbeitet worden. Diese dienen als Gegenstück und stellen die Kommunikation der Verkehrsteilnehmer untereinander sicher.



Abbildung 12: von der TUB gefertigte Sensorbox

2.3.3.3. Zentraler Bordrechner - Betriebssystem

Für das Betriebssystem wurde entschieden, ein Linux-System auf den Rechnern zu installieren. Hierzu wurde zunächst ein spezieller Kernel für die Hardware und das Projekt vorbereitet, der die wesentlichen Merkmale und Funktionen des benötigten Betriebssystems umfasst.

Dieser Vorgang wurde zunächst mit Yocto begonnen. Yocto ist ein Meta-Build-System, mit dem sich eigene Linux-Distributionen von Grund auf erstellen lassen. Dies bietet die Flexibilität, das System genau an die Bedürfnisse anzupassen und nur die Software-Komponenten mit einzubinden, die tatsächlich benötigt werden. Dies hat den Vorteil, dass ein möglichst kleines, effizientes und sicheres Betriebssystem genutzt wird. In einem mehrtägigen Yocto-Workshop hat sich die Erstellung eines eigenen Systems dennoch als komplex und zeitaufwändig herausgestellt, um im Rahmen dieses Projektes realisiert werden zu können. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass die Wartung eines eigenen Systems, insbesondere die Anpassung an Updates der verwendeten Komponenten zu viel Zeit und Manpower benötigt. Daher wurde dieser Ansatz für dieses Projekt verworfen und auf die Produktentwicklungsphase verschoben.

Es wurde vielmehr entschieden, eine für das Variscite-Board geeignete Debian-Version einzusetzen. Für die Grafikelemente wurde auf Weston/Wayland zurückgegriffen. Dabei hat sich jedoch herausgestellt, dass dieses System den auf dem Board vorhandenen Grafik-Prozessor hardware-technisch nicht unterstützt. Leider war auch keiner der Versuche erfolgreich dieses Problem zu beheben, so dass für den weiteren Verlauf im Projekt nur eine rein software-technische Grafik eingesetzt werden konnte. Dies wirkte sich aber im Wesentlichen nur auf die Wiederholrate der Frames aus, die nun im Vergleich zur Hardware-Lösung langsamer ist. Hier bestehen somit für zukünftige

Arbeiten noch Verbesserungsmöglichkeiten. Da aber die Grafik ohnehin nicht im Fokus der Arbeiten lag, war das kein wirklicher Nachteil für die Zielerreichung des Projekts. Konzeptionell war ja der Ansatz, dass Grafikfunktionen auf einen typischen Smartphone oder Tablet ausgelagert werden sollten. Diese sind bei Piloten bereits für den Gebrauch von Navigationssystemen sehr beliebt und können ohne größere Probleme an Bord jedes Luftfahrzeugs eingesetzt werden. Auf diesen Geräten sollen später die grafischen Ausgaben ausgeführt werden, so dass im Rahmen dieses Projekts auf eine grafische Hardwareunterstützung verzichtet werden konnte. Statt dessen wurden die Grafikdarstellungen für die Anzeige auf dem direkt angesteuerten Display rein softwareseitig erzeugt, wodurch zwar die Darstellung etwas langsamer erfolgte, aber für den hier vorliegenden Zweck völlig ausreichten.

2.3.3.4. Zentraler Bordrechner - Assistenzsysteme

Als Beispiele für ressourcenfordernde Applikationen waren die beiden Applikationen *C2Land* und *FlareAssistent* vorgesehen. Während *C2Land* aus einem anderen Projekt funktional fertig übernommen und nur auf den neuen Bordrechner portiert werden musste, war der *FlareAssistent* neu zu entwickeln. Diese Aufgabe hatte der Projektpartner TU Berlin übernommen.

Die Aufgabe der C2Land-Software ist es, den umliegenden Flugverkehr zu Erkennung zu bewerten und vor Konfliktsituationen zu warnen. Hierzu werden die Sensordaten, die durch die Sensorbox und das TM350 erfasst werden, dieser Anwendung zugeführt, die jeweiligen Flugwege extrapoliert und die sich dann ergebende kurzfristige Situation bewertet. Ein Beispiel für eine solche Konfliktabschätzung ist in Abbildung 13: Ausgabe einer Traffic-Conflict-Situation auf der C2Land-Applikation ist in Abbildung 13 dargestellt. Für eine detaillierte Beschreibung der Hintergründe und Funktionen sei auf die Projektberichte von C2Land verwiesen [C2Land].

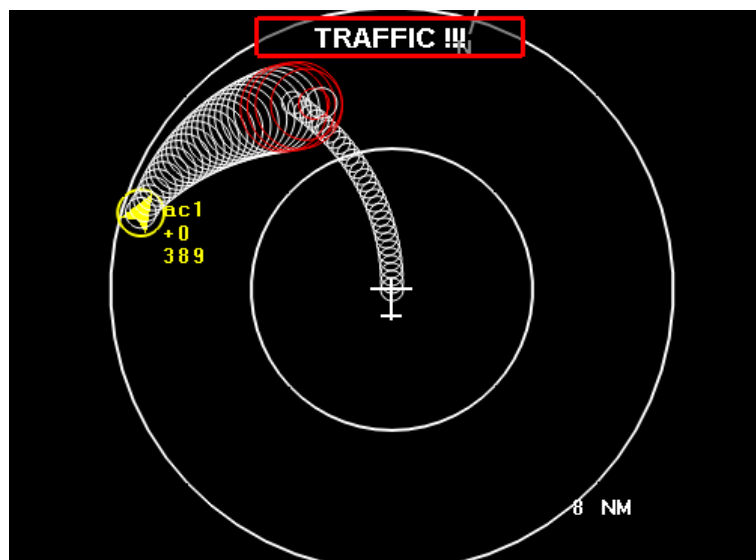


Abbildung 13: Ausgabe einer Traffic-Conflict-Situation auf der C2Land-Applikation

Die von der Applikation benötigten Daten wurden im wesentlichen von der Sensorbox über Ethernet bereitgestellt. Hierzu wurde ein Daten-Mapping gemäß der in Abbildung 14 aufgezeigten Zuordnung durchgeführt, so dass die notwendigen Inputs für die Applikationen verfügbar waren.

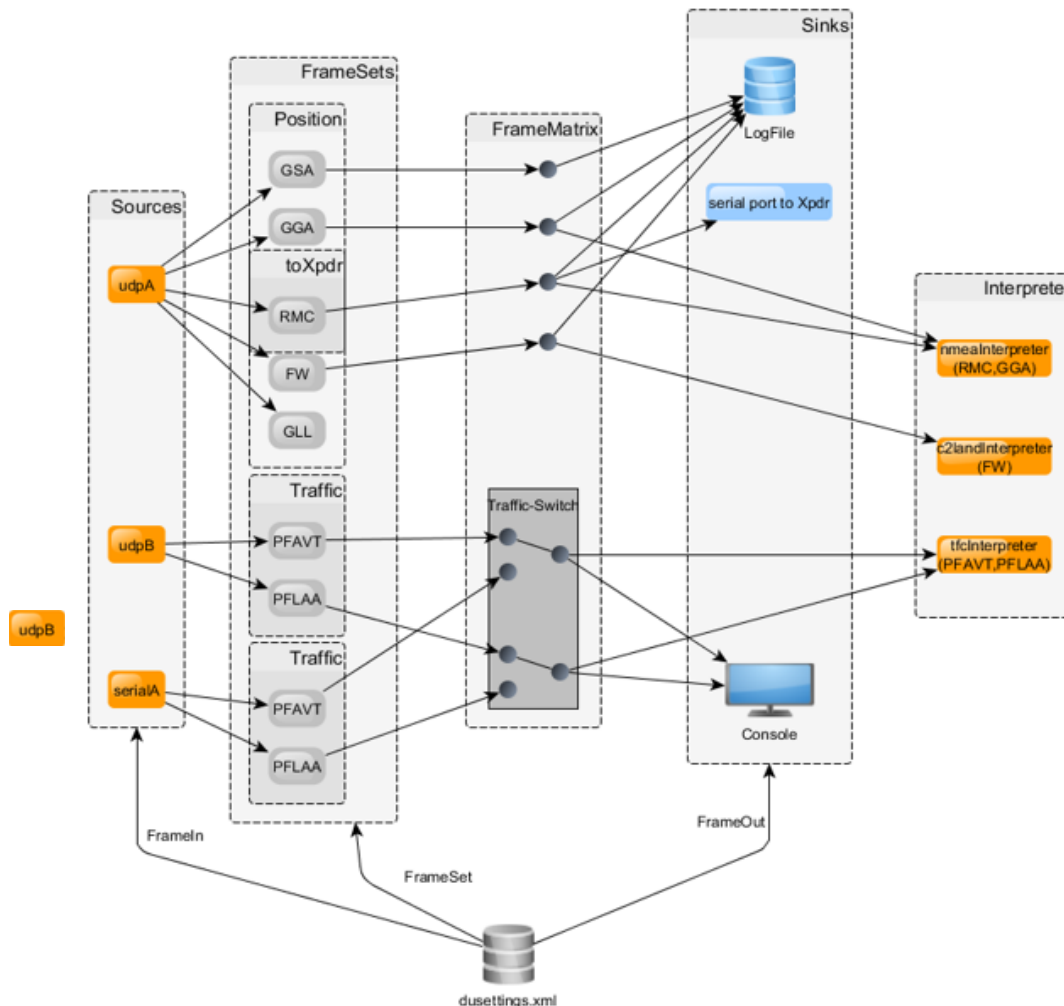


Abbildung 14: Sensordatenzufuhr für die C2Land-Applikation

Neben der C2Land-Applikation wurde mit dem Flare-Assistenten ein zweites Assistenzsystem auf dem Bordrechner implementiert. Diese Applikation dient der Unterstützung der Piloten in der letzten Flugphase – dem Abfangbogen auf der Landebahn und dem Abbau der Geschwindigkeit bzw. der Bewegungsenergie in geringer Höhe bis zum Aufsetzen des Luftfahrzeugs. Damit liefert diese Applikation Hilfen zur Höhenschätzung und dem Energiestatus. Abweichungen von einem vorberechneten optimalen Anflug werden durch die Sensoren erfasst und in Korrekturvorschläge übersetzt. Diese werden durch eine Anzeigeoberfläche angeboten und durch die Piloten manuell gesteuert. Im Rahmen des Vorhabens wurde von der TU Berlin der FlareAssistent entwickelt und in verschiedenen Versuchen durch erfahrene Piloten bewertet.

Ergebnisse der Bewertungen flossen iterativ in die Gestaltung der Anzeigen ein, so dass schließlich die Anzeige in Abbildung 17 gewählt und implementiert wurde.

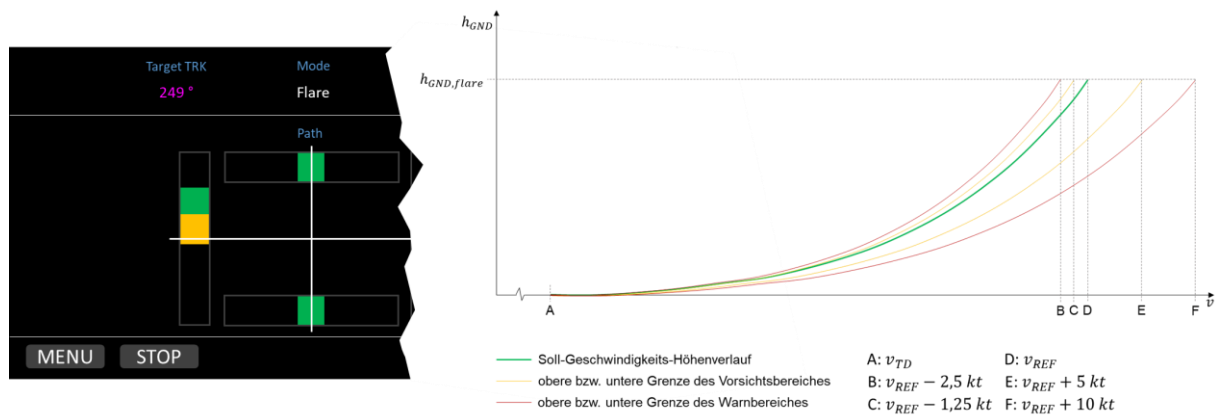


Abbildung 15: Entwicklung des FlareAssistenten zur Führung des optimalen Geschwindigkeits-/Höhenverlaufs

Optimierung und Validierung des Anzeigekonzeptes

FARBGEBUNG

	Soll-Bereich (grün)	Vorsichtsbereich (gelb)	Warnbereich (rot)
Lateral	$-1,25^\circ < \Delta < 1,25^\circ$	$1,25^\circ < \Delta_{rechts} < 2,5^\circ$ $-1,25^\circ > \Delta_{links} > -2,5^\circ$	$\Delta_{rechts} > 2,5^\circ$ $\Delta_{links} < -2,5^\circ$
Vertikal	$-0,35^\circ < \Delta < 0,35^\circ$	$0,35^\circ < \Delta_{oben} < 0,7^\circ$ $-0,35^\circ > \Delta_{unten} > -0,7^\circ$	$\Delta_{oben} > 0,7^\circ$ $\Delta_{unten} < -0,7^\circ$
Speed	$-1,25 \text{ kt} < \Delta < 5 \text{ kt}$	$5 \text{ kt} < \Delta_{oben} < 10 \text{ kt}$ $-1,25 \text{ kt} > \Delta_{unten} > -2,5 \text{ kt}$	$\Delta_{oben} > 10 \text{ kt}$ $\Delta_{unten} < -2,5 \text{ kt}$

AUDITIVE WARNUNG

- Für Verwendung als Advisory System
- Bei Abweichungen in gelbes Band oder rotes Band ertönen Callouts:
 - „CHECK LATERAL OFFSET“
 - „CHECK FLIGHT PATH ANGLE“
 - „CHECK SPEED“

→ Erprobung in Flugversuchen

Abbildung 16: Wahl der Farbgebung und der Sprachausgaben

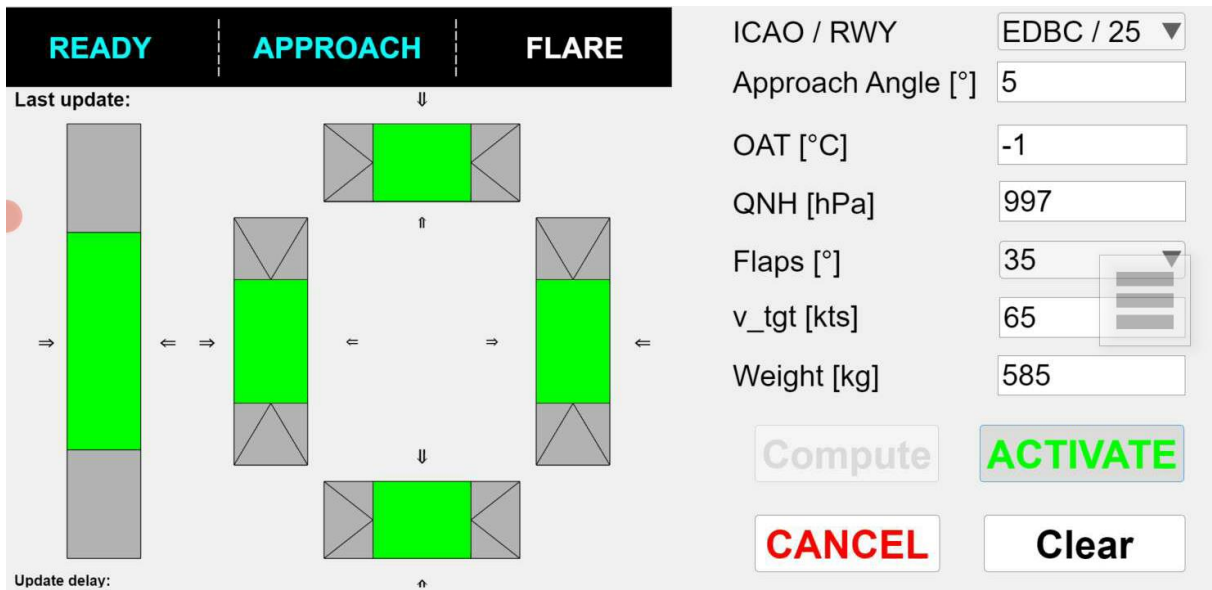


Abbildung 17: Anzeige des FlareAssistenten

Zur Bedienung im Flugzeug wurden berührungsempfindliche Schaltflächen eingesetzt, die Ausgabe der Führungsinformation erfolgte in Anlehnung an Bänder-Darstellungen, wie sie in Glascockpits zu finden sind. Eine detaillierte Beschreibung findet sich im Abschlussbericht des Partners TU Berlin [SAFEfly-TUB].

2.3.4. Flugversuche

Während der Entwicklungsarbeiten wurde das Erreichen von Teilzielen immer wieder in verschiedenen Versuchen seitens der TU Berlin überprüft. Diese Versuche waren sowohl für die Entwicklungsstufen des FlareAssistenten als auch für den Fortschritt bei den Hardware-bezogenen Komponenten wichtig. Einen Überblick über die einzelnen Versuche auf dem Zeitstrahl des Projekts gibt nachfolgende Abbildung 18.

HAP5 – Flugversuche

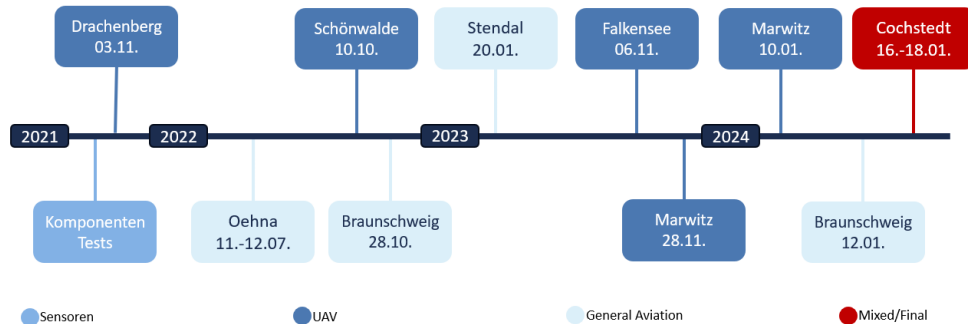


Abbildung 18: Übersicht über durchgeführte Versuche während der Projektlaufzeit der TU Berlin

Für den Abschluss des Projekts wurde schließlich ein großer Flugversuch durchgeführt, bei dem die einzelnen Komponenten, die in diesem Projekt entwickelt wurden, in der jeweiligen finalen Entwicklungsstufe gemeinsam miteinander interagieren konnten. Die Versuche wurden anhand verschiedener Szenarien durchgeführt, bei denen das Luftfahrzeug während Start- und Landephasen räumlich in die Nähe zu den beiden Drohnen gebracht wurde. Dabei sollte insbesondere die gegenseitige Position der Luftfahrzeuge untereinander ausgetauscht werden, um die Konfliktsituation als solche zu erkennen und zielgerichtet zu entschärfen.

Die Versuche fanden im Januar 2024 an zwei Tagen auf dem Gelände des Versuchsflughafens der DLR für Drohnenversuche in Cochstedt statt („Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme“). Dieser Flughafen wurde ausgewählt, da er sich für diese Versuche besonders eignet, weil sich der Luftraum am und über dem Flughafen für die Nutzung anderer Verkehrsteilnehmer während der Flugversuche einschränken ließ. So konnten die Versuche gefahrlos für andere Verkehrsteilnehmer ausgeführt werden. Darüber hinaus bietet der Flughafen eine ausgezeichnete Infrastruktur mit Räumlichkeiten, Fahrzeugen und geeigneten Verfahren, die sich für die Durchführung und Vorbereitung der einzelnen Versuche hervorragend nutzen ließen.



Für diese Versuche wurde ein UL der Firma Messwerk vom Typ Remos GX mit den Hardware-Komponenten Bordrechner und Sensorbox ausgerüstet. Für die Erzeugung von Konfliktsituationen im An- und Abflug wurden zwei Drohnen, ein Multicopter und eine Flächendrohne, ebenfalls mit Sensorboxen ausgestattet, die neben der Datensensierung auch den Datenaustausch zwischen den Drohnen und dem Flugzeug durch Funkverfahren sicherstellten.



Der Bordrechner wurde in einem speziellem Bereich hinter dem linken Pilotensitz im Flugversuchsträger Remos eingerichtet und mit den Komponenten TM350 und der Sensorbox für das Flugzeug ergänzt. Dieser Einbauort ist besonders geeignet, da die Distanzen für die Außenantennen kurz sind und eine geeignete Stromversorgung verfügbar ist.



Abbildung 19: Einbau des Bordrechners im Versuchsflugzeug Remos GX:
links die Sensorbox, in der Mitte der Bordrechner, rechts das TM350

Teile der Außenantennen und der Bodendistanzsensor LIDAR wurden auf der Ober- und Unterseite des gleichen Rumpfsegments positioniert. Dadurch konnten die Kabelverbindungen in Länge und Weg optimiert werden.

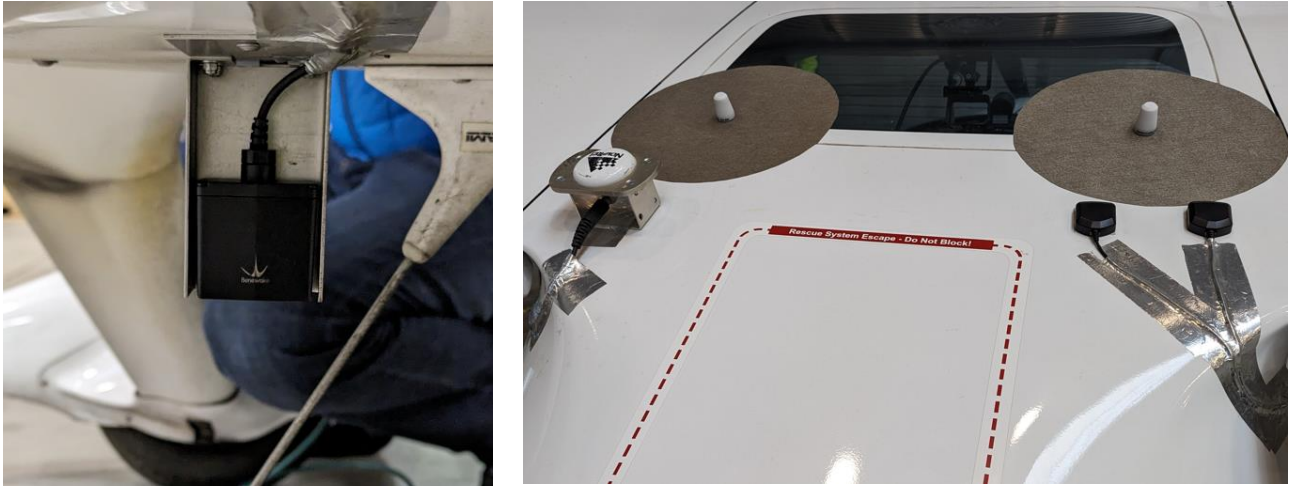


Abbildung 20: LIDAR-Distanzmessung zum Boden an der Rumpfunterseite, Außenantennen auf der Rumpfoberseite

Für die Durchführung der Versuchsflüge wurde die für den Flughafen übliche Platzrunde verwendet, die mit bestimmten Aufenthaltsbereichen ergänzt wurden, die zur Vorbereitung und bei Abweichungen vom Versuchsverlauf von den Luftfahrzeugen eingenommen werden sollten. Diese Verfahren waren notwendig, um Sicherheitsauflagen zu erfüllen, die Teil der Aufstiegs genehmigungen waren.



Abbildung 21: Einsatz- (A) und Contingency-Lufträume (B) für das Songbird-UAV und das Versuchsflugzeug innerhalb der Platzrundenverläufe in Cochstedt

Nachfolgende Abbildung 22 zeigt den gleichzeitigen Einsatz aller drei Fluggeräte (zwei UAV und ein UL) mit den Flugspuren des UL in der Platzrunde von Cochstedt,

aufgenommen als ADS-B-ausstrahlender Verkehr, dargestellt auf der öffentlichen Plattform *ABS-B-Exchange*.

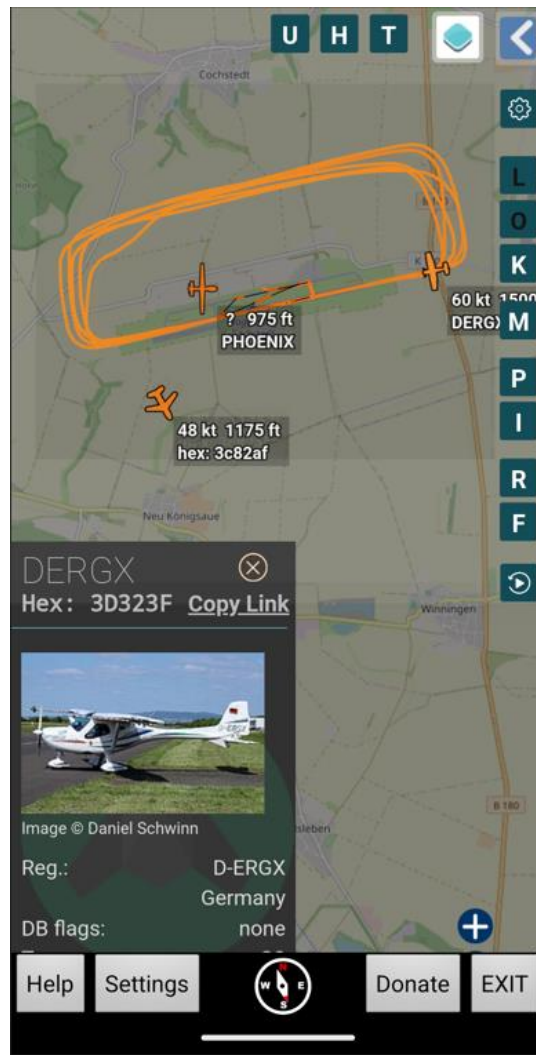


Abbildung 22: Anzeige der Versuchsflugeräte in der App ADS-B-Exchange mit a) Songbird (südlich der Bahn), b) Multikopter (nördlich der Bahn), c) Remos GX (im Endanflug der Platzrunde)

Der Ablauf der Versuche wurde von einem mobilen Leitstand (Abbildung 23) überwacht, der in ein vom DLR zur Verfügung gestelltes Fahrzeug eingerüstet wurde und somit sowohl eine Überwachung der Vorgänge durch Sicht nach außen als auch durch die Datendarstellung in der Leitstandsoftware ermöglichte. Die Kommunikation mit den einzelnen Piloten für die Steuerung der UAV und des Versuchsflugzeugs wurde über Funk (geschlossener Bereich und auf der Platzfrequenz) durchgeführt.



Abbildung 23: Anzeige im mobilen Leitstand-Fahrzeug

Mit den Versuchen konnte gezeigt werden, dass die Teilziele der FAV und TUB erreicht werden konnten. Sowohl die hardware-technischen Voraussetzungen für die Assistenzsysteme im Versuchsflugzeug (zentraler Bordrechner), als auch die sensorischen Anschlüssen und die Kommunikation zwischen den Verkehrsteilnehmern konnten erfolgreich miteinander vernetzt werden und dienten den Versuchspiloten als Informationsquelle für die sichere Durchführung eines Sichtfluges in der letzten Phase des Fluges und beim Start.

2.4. Zusammenarbeit

Das Verbundvorhaben SAFEfly setzte sich aus den beiden Partnern TU Berlin (TUB) und f.u.n.k.e. AVIONICS GmbH (FAV) zusammen. FAV fokussierte sich auf die Entwicklung der Hardware und auf alle Aspekte, die aus Sicht einer späteren Produktentwicklung bereits in der Vorentwicklung stattfinden sollten. Ziel war eine möglichst leistungsfähige, flugtaugliche Rechnerhardware auf den Weg zu bringen, die den zukünftigen Anforderungen von Assistenzsystemen und anderen Programmen gerecht wird und die für eine Unterstützung von Pilotenaufgaben in kleinen Luftfahrzeugen genutzt werden kann. Diese Tätigkeiten wurden durch die TUB in idealer Weise ergänzt, die neben der Entwicklung eines weiteren Assistenzsystems für die Flare-Phase und der Sensorik insbesondere die Expertise von Planung und Durchführung von professionellen Flugversuchen sowie die Bereitstellung der dazu benötigten Infrastruktur und Werkzeuge einbrachte. Beispiele hierfür sind der bei der TUB vorhandene Flugsimulator, die bestehenden Drohnen, die Möglichkeiten der raschen Prototypenentwicklung mit Unterstützung der eigenen Werkstatt, die Bereitstellung eines Forschungsflugzeugs durch einen Unterauftragnehmer und die Beziehungen zu anderen Forschungseinrichtungen wie dem DLR, die den Versuchsflyghafen Cochstedt zur Verfügung stellen.

Das Verbundvorhaben wurde von FAV aufgesetzt und geleitet, um die Anforderungen einer späteren Produktverwertung ausreichend zu berücksichtigen. Die interne Abstimmung im Projekt erfolgte durch regelmäßige Abstimmungsgespräche, bei denen Aktionen vereinbart und nachverfolgt wurden. Dadurch wurde sichergestellt, dass die gemeinsamen Schnittstellen für das Produkt und die Projektarbeiten klar definiert und stets rechtzeitig zur Verfügung standen.

Eine externe Zusammenarbeit war notwendig mit dem Luftfahrtbundesamt für die Genehmigung der Durchführung der Flugversuche und mit dem parallel laufenden Projekt *Morealis*, das sich mit ähnlichen Fragestellungen beschäftigt. Hierzu wurde regelmäßig ein bilateraler Informationsaustausch zwischen den beiden Projektkoordinatoren FAV und der SFL GmbH durchgeführt. Ziel war die gegenseitige Information über die erzielten Ergebnisse und Fortschritte im jeweiligen Projektverlauf. Einen weiteren Austausch gab es mit dem Projekt *C2Land*, aus dem eine der beiden Beispielanwendungen übernommen wurde.

3. Zielerreichung des Vorhabens

Das Ziel dieses Gesamtvorhabens SAFEfly war zu zeigen, wie durch den Einsatz von Assistenzsystemen in kleinen Luftfahrzeugen die Flugsicherheit verbessert werden kann. Als Anwendungsfall wurde für dieses Vorhaben der Landeanflug gewählt, bei dem die Belastung der Piloten besonders hoch ist und bei dem die Fehler oft besonders folgenreich sind. Durch die Zunahme von Drohnenbetrieb in allen Bereichen ist auch in bodennaher Flughöhe zunehmend mit Drohnenverkehr zu rechnen, der durch die unterschiedlichsten Formen von ULs und Luftsportgeräten ergänzt wird. Dies macht den Flugverkehr insbesondere an kleineren Flugplätzen besonders heterogen. Dies ist gerade bei einfachen Flugplätzen problematisch, da dort der Luftverkehr nicht durch eine Flugsicherung aktiv geregelt wird wie an großen Flughäfen.

Hauptaufgabe der FAV war dabei die Entwicklung eines leistungsstarken, flugfähigen Bordrechners als Funktionsdemonstrator, der als Plattform für leistungsfordernde Programme wie zum Beispiel KI-basierte Assistenzsysteme für Piloten in Kleinflugzeugen der UL- und Echo-Klasse genutzt werden kann. Dieser Bordrechner sollte mit neuartigen Sensoren wie Lidar ergänzt werden, auf die solche Assistenzsysteme zurückgreifen. Darüber hinaus waren Kommunikationssysteme anzubinden, um in den bodennahen Flugphasen Endanflug, Flare und Start in einem heterogen mit Drohnen durchmischten Luftraum kollisionssicher fliegen zu können.

Der Funktionsdemonstrator dient somit als Plattform dem Betrieb von leistungsfordernden Assistenzsystemen. Die in diesem Vorhaben beispielhaft verwendeten Assistenzsysteme waren ein Verkehrssituation- und Flugwegdarstellungssystem C2Land (bereits verfügbar) und den von der TUB in diesem Vorhaben entwickelten Flare-Phasen-Assistenten mit den jeweiligen Anzeigesystemen. Um als Plattform in ULs und E-Klasse-Flugzeuge einsetzbar zu sein, müssen hardware-technische Anforderungen erfüllt werden. Das betrifft insbesondere

- die Stromversorgung und das EMV-Verhalten
- die Schnittstellen für externe Oberflächen über Funkverbindung wie WLAN oder Bluetooth
- die Schnittstellen für verschiedene Sensoren, die für die Programme benötigt werden
- das Gewicht
- und zulassungsbezogene Einbauvorschriften

Für den Nachweis der Funktionsfähigkeit

- wurden bestehende und entwickelte Programme auf den Bordrechner portiert.
- wurde der Funktionsdemonstrator in einem UL als Flugversuchsträger eingebaut und mit externen Sensoren und Kommunikationssystemen verbunden.
- szenarienbasierte Flugversuche in einer Flugversuchskampagne für bodennahe Flugphasen in einem bemannt/unbemannt durchmischten Luftraum durchgeführt.

Diese Ziele konnte alle erreicht und im Flugversuch gezeigt werden.

3.1. SMARTe Ziele

Für die Zielsetzung und die Bewertung der Zielerreichung wurden zu Anfang des Vorhabens sog. SMARTe Ziele formuliert. Die dort formulierten Ziele und die anschließende Zielerreichung anhand des SMART-Schemas ist nachfolgend beschrieben.

3.1.1. Spezifisch

FAV konnte im Rahmen des Projekts SAFEfly einen Bordrechner als Funktionsdemonstrator realisieren, auf dem eine nachfolgenden Produktentwicklung aufbauen kann. Der Bordrechner ließ sich in einen Flugversuchsträger integrieren und mit den notwendigen Sensoren über die angebotenen Schnittstellen verbinden. Als Anzeigesystem dienten intern und extern angeschlossenen Anzeigegeräte, die über verschiedene Verfahren angesteuert wurden.

Auf dem Bordrechner wurden zwei unterschiedliche Assistenzsysteme entwickelt bzw. portiert, die als Beispiel für komplexe, leistungsfordernde Programme dienen, wie sie auch in der KI-Technologie eine Rolle spielen. Solche Assistenzsysteme können zukünftig daher auch in kleineren Luftfahrzeugen eine Rolle spielen und die Flugführung in besonders kritische Flugphasen sowie in neuen Verkehrssituationen unterstützen.

3.1.2. Messbar

Für den Nachweis der Einsetzbarkeit wurden für Zwischenziele während des Vorhabens und am Ende des Projekts für das Gesamtsystem umfangreiche Flugversuche durchgeführt. Diese sind im Schlussbericht des Partners TUB detailliert beschrieben und ausgewertet.

Die in diesem Teilvorhaben zudem erreichten messbaren Teilziele sind die vorliegende Hardware des Bordrechners, die ausführbaren Programme als Beispielapplikationen und die zugehörige Dokumentation.

3.1.3. Attraktiv/Achievable

Das Projekt war in verschiedene Teilabschnitte untergliedert, die die Themen Zulassung- und Einbaumöglichkeiten, Form, Komponenten, Eigenentwicklung, Zusammenführung, Softwareentwicklung, Sensoranschluss, Integration und Validierung/Test umfassten. Diese Teilbereiche wurden in verschiedenen Teams erarbeitet und waren in Einzelschritten überschaubar eingeteilt und jeweils für sich erreichbar. Erreichte Teilabschnitte wurden jeweils einzeln abgeprüft, das Gesamtsystem dann zum Abschluss des Projekts in den Flugversuchen am Flughafen Cochstedt. Gerade die Flugversuche waren, wie erwartet, ein besonders attraktives Ereignis für die Mitarbeiter im Projekt, da die einzelnen Arbeiten und Teilerfolge zum Abschluss alle ineinander greifen und als Ganzes wahrgenommen werden konnten.

3.1.4. Realistisch

Da alle Teilabschnitte und das Gesamtvorhaben erreicht werden konnte, erwies sich die ursprüngliche Einschätzung mit den jeweils vorhandenen Kompetenzen als richtig.

3.1.5. Terminiert

Mit der Validierung des Gesamtsystems konnten die Annahmen innerhalb der vorgegebenen Zeit erreicht werden. Lediglich aufgrund der verspäteten Erteilung der Aufstiegsapprobationen musste eine kleine Zeitverzögerung zum Ende des Vorhabens hingenommen werden.

3.2. Förderpolitisches Ziel

Das Vorhaben soll neben der Erhöhung der Flugsicherheit als Teil des formulierten Ziels „sichere und passagierfreundliche Luftfahrt“ dazu beitragen, die Zukunftsfähigkeit von kleinen und mittelständischen Avionikherstellern zu erhalten - gerade im Hinblick auf die sich aktuell stark verändernde Nutzung des Luftraums durch das Aufkommen von unterschiedlichen Luftverkehrsteilnehmern. Mit der Realisierung des Funktionsdemonstrators konnte gezeigt werden, dass auch kleine Luftfahrzeuge nicht auf leistungsfordernde Bordrechner verzichten müssen und dass eine entsprechende integrierte Cockpitgestaltung und ein entsprechendes Angebot an Assistenzsystemen auch für diesen Typ Luftfahrzeuge möglich ist. Dies ist ein wichtiger Beitrag für die Aufrechterhaltung bzw. Steigerung der Flugsicherheit im heterogenen, bodennahen Luftraum und für einen Avionikhersteller von Komponenten für diese Zielgruppe zukunftsweisend.

Daran schließt sich auch die Frage an, ob sich ein solches Produkt zu marktüblichen Konditionen entwickeln und herstellen lassen kann. In der Tat kann nach Abschluss des Vorhabens davon ausgegangen werden, dass sich mit den verfügbaren

Zukaufsteilen und den notwendigen eigenentwickelten Komponenten ausreichend leistungsstarke, flugtaugliche Bordrechner und Sensoren herstellen und anbieten lassen, um neuartige Assistenzsysteme in das Cockpit kleinerer Flugzeuge zu bringen. Dies fließt daher direkt in die Produktstrategie von FAV ein.

Mit der Realisierung des Funktionsdemonstrators konnte gezeigt werden, dass auch kleine Luftfahrzeuge nicht auf leistungsfordernde Bordrechner verzichten müssen und dass eine entsprechende integrierte Cockpitgestaltung und ein entsprechendes Angebot an Assistenzsystemen auch für diesen Typ Luftfahrzeuge möglich ist. Dies ist ein wichtiger Beitrag für die Aufrechterhaltung bzw. Steigerung der Flugsicherheit im heterogenen, bodennahen Luftraum und für einen Avionikhersteller von Komponenten für diese Zielgruppe zukunftsweisend.

4. Verwertbarkeit der Ergebnisse

Im Projekt SAFEfly konnte ein flugfähiger Demonstrator entwickelt werden, der anhand von beispielhaften Assistenzsystemen und der Anbindung verschiedener Sensoren gezeigt hat, dass das gewählte Konzept auch für ein Produkt tragfähig ist. Dies gilt insbesondere für die Leistungsfähigkeit, die Wahl der angebotenen Schnittstellen für die Kopplung von Sensoren und den Ansatz der Unterstützung drahtloser Anschlüsse für Kopplung von Geräten wie Smartphones und Tablets, auf denen die Anzeige der Assistenzsysteme erfolgen kann. Gerade in Flugzeugen der unteren Klassen (UL und E) ist eine abgesetzte Bauweise aufgrund der Platzverhältnisse vorteilhaft. Der Einbau in ULs ist typischerweise problemlos; für den Einbau in Hubschrauber und Flugzeuge der E-Klasse kann mithilfe der vereinfachten Einbauvorschrift CS-STAN und der zugehörigen Wahl der Applikation (Assistenzsystem) die Einrüstung vereinfacht durchgeführt werden, so dass die Hürde der Zulassung hier ein Stückweit erleichtert ist. Das ist insbesondere für den Nachrüstmarkt eine interessante Option, wenn das Gerät über eine darin benannte Applikation und dem zugehörigen Einrüstpfad der CS-STAN eingebaut werden kann.

Der SAFEfly-Bordrechner ist als Plattform für unterschiedliche Applikationen konzipiert. Dies können Assistenzsysteme sein, wie in diesem Vorhaben gezeigt wurde. Es können aber auch andere Applikationen sein, die zum Teil vom Flugzeughersteller aber auch von den Nutzern und Betreibern der Flugzeuge selbst auf das System gebracht werden. Hier sind grundsätzlich alle Optionen denkbar, weshalb dieser Bordrechner als Teil moderner IT-Konzepte im Flugzeug eine zentrale Rolle im Flugzeug spielen kann. Im Unterschied zu käuflich erhältlichen Standardkleinrechnern ist es die Flugtauglichkeit und das Angebot der flugzeugspezifischen Schnittstellen, die ein solches Produkt für den OEM- aber auch den Nachrüstmarkt hervorhebt. Für die Einbindung in die Welt des Internets wäre die Erweiterung des Bordrechners mit einer Mobilfunkkomponente sinnvoll. Hierrüber ließen sich aktuelle Wetter- und andere flugrelevante Daten in das System übernehmen. Darüber hinaus kann diese Erweiterung für betriebliche Funktionen eingesetzt werden, die für eine Übersicht über die Nutzung des Flugzeugs Auskunft geben (Flugdatenerfassung und Zugriff über diese Daten über ein Portal), bis hin zu einer bodenseitigen Sicherung technischer Parameter („virtuelle Blackbox“).

Im Projekt SAFEfly konnte gezeigt werden, dass sich der Bordrechner als Plattform für ausgewählte Assistenzsysteme mit Anschluss der entsprechenden Sensoren und der Integration von geeigneten Bedien- und Anzeigesystemen gut eignet. Für die Integration des Produkts als Teil der FAV-Produktfamilie kann über eine enge Vernetzung mit den bestehenden Produkten erfolgen. Ein typischer Vernetzungsvorteil wäre, den Piloten über eine Bedienoberfläche des Bordrechners den Zugriff auf die anderen Produkte von FAV in bidirektionaler Weise anzubieten (Zugriff auf Statusdaten und Durchführung von Einstellungen). Darüber hinaus kann die Funktionsweise des Bordrechners genutzt werden, den anderen FAV-Produkten Zusatzfunktionen zu ermöglichen, die es bisher so nicht gibt. Denkbar wäre eine Datenbank der Frequenzen auf dem Bordrechner, aus der sich die benötigten Frequenzen leichter über eine Namens- und Ortszuordnung auswählen lassen würden und diese dann direkt dem Sprechfunkgerät zuzuführen und dort zu aktivieren. Die Kopplung mit der Intercom-Funktion des FAV-Sprechfunkgeräts ließe auch eine Kommunikationsaufzeichnung zu, die in

Verbindung mit der Mobilfunkkommunikation zu einem bodenseitigen „virtuellen Voice-Datenrekorder“ ausgebaut werden könnte. Messungen über den umliegenden Verkehr des Flugzeugs vom verbundenen FAV-Verkehrswarnsystem können über die Kommunikationskomponente des Bordrechners an die Flugsicherung am Boden weitergeleitet werden, die diese Daten nutzt, um ihr aktuelles Bild über den Flugverkehr zu vervollständigen und etwaige Erfassungslücken auszuleuchten. Mit den Ergebnissen der Versuche und den Arbeiten während des Vorhabens können nun – nach Abschluss des Vorhabens - die Spezifikationen für dieses Produkt beginnen.

Um erste Marktreaktionen abzufragen, wurde einer der Funktionsdemonstratoren auf dem Stand der FAV auf der Luftfahrtmesse Aero 2024 in Friedrichshafen als solitäre Produktstudie ausgestellt. Allerdings war die Resonanz darauf insgesamt noch verhalten. Um das Potential deutlicher herauszustellen, erscheint es für zukünftige Präsentationen sinnvoll, die Produktidee gemeinsam mit den anderen Produkten der FAV im vernetzten Zustand zu präsentieren.

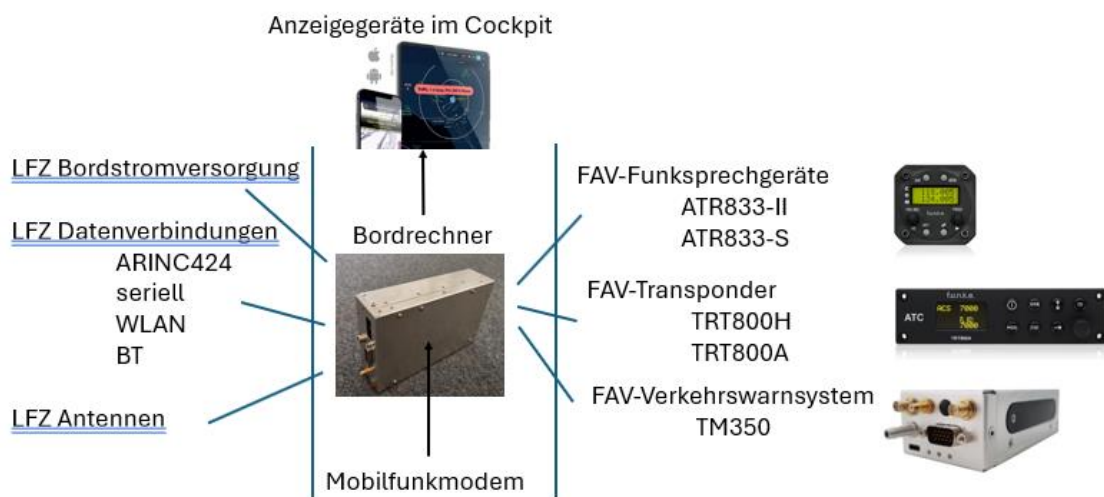


Abbildung 24: mögliche Avionikvernetzung des Bordrechners im Flugzeug

Dieses Konzept könnte auch für Drohnen interessant sein, um diesen eine Möglichkeit der Implementierung der Funktionen für den autonomen Flug zu verleihen. Dazu müsste allerdings die Dimension spürbar verkleinert werden. Hierzu werden deutlich stärkere Bordrechner benötigt als die zurzeit üblichen, die auch mit neuartigen Sensoren und Flugsteuerungselementen verbunden werden müssen.

Vor der nun anstehenden Produktentwicklung ist zunächst geplant, die Flugzeug-OEMs erneut nach deren Anforderungen zu befragen. Ziel ist der Abgleich der bestehenden Produktspezifikation mit den aktuellen Trends im Flugzeugbau, um bis Ende des Jahres eine mit den Herstellern abgestimmte Vorstellung über die Leistungs- und Funktionsmerkmale der Produkts zu erstellen. Gleichzeitig sollen die möglichen Stückzahlen im Erstausrüstermarkt aktuell abgefragt und die für den Nachrüstmarkt abgeschätzt werden. Darauf aufsetzend soll eine Produktentwicklung starten, die den

bestehenden Funktionsdemonstrator in ein Produkt überführt. Der hierfür benötigte Zeitrahmen wird aus heutiger Sicht auf etwa zwei Jahre geschätzt. Die Entwicklungsarbeiten sind für den Standort Ulm vorgesehen - die späteren Produktions- und Aftermarket-Aktivitäten am Hauptsitz Buchloe.