


| | | |
|---|--|-------------|
|  Leichtwerk AG | Sachbericht zum Verwendungsnachweis | |
| FKZ: 16SV8629 | SAMMIE | Revision: B |


Sachbericht zum Verwendungsnachweis

SAMMIE Design und Evaluation einer Mensch-Maschine-Schnittstelle für
Drohnenpiloten

Teil 1: Kurzbericht


Autoren: Paul Frost, Thomas Krüger

All rights reserved. Reproduction or disclosure to third parties of this document or any part thereof is not permitted, except with the prior and express written permission of LEICHTWERK AG.

| | | |
|--|-------------------------------------|-------------|
|  Leichtwerk AG | Sachbericht zum Verwendungsnachweis | |
| FKZ: 16SV8629 | SAMMIE | Revision: B |

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|----------|
| 1 | DEFINITIONEN UND ABKÜRZUNGEN | 4 |
| 2 | URSPRÜNGLICHE AUFGABENSTELLUNG | 4 |
| 3 | STAND DER TECHNIK ZU BEGINN DES VORHABENS | 4 |
| 4 | ABLAUF DES VORHABENS | 5 |
| 4.1 | HAP 1 – SYSTEM- ANFORDERUNGS- UND TASKANALYSE..... | 5 |
| 4.2 | HAP 2 – SYSTEMKONZIPIERUNG..... | 5 |
| 4.3 | HAP 3 – IMPLEMENTIERUNG..... | 6 |
| 4.4 | EVALUATION & ITERATIVE OPTIMIERUNG | 6 |
| 5 | WESENTLICHE ERGEBNISSE | 6 |
| 5.1 | CAS-MENSCH-MASCHINE-INTERFACE (MMI) AM LEITSTAND: | 6 |
| 5.2 | CAS-LOGIK ZUR ERKENNUNG VON KONFLIKTEN UND ERSTELLUNG VON AUSWEICHEMPFEHLUNGEN:..... | 6 |
| 5.3 | SIMULATIONSUMGEBUNG FÜR DEN TEST DES CAS-SYSTEMS: | 6 |
| 5.4 | UAV ALS KONFLIKTTILNEHMER FÜR REALVERSUCHE: | 7 |
| 6 | REFERENZEN | 7 |

| | | |
|--|--|-------------|
|  Leichtwerk AG | Sachbericht zum Verwendungsnachweis | |
| FKZ: 16SV8629 | SAMMIE | Revision: B |

Allgemeine Anforderungen an den Sachbericht

Als Teil des Verwendungsnachweises ist – neben dem zahlenmäßigen Nachweis – ein fachlicher Sachbericht zu erstellen, in dem die Durchführung des Vorhabens und die Erreichung der Projektziele darzustellen sind. Mit ihm beurteilt das BMBF zum einen, ob die Fördermittel für die vorgesehenen Zwecke verwendet wurden, zum anderen dient er der Evaluierung des vorliegenden Vorhabens wie auch des zugrunde liegenden Förderschwerpunktes bzw. -programms. Er gliedert sich in drei Teile:

- Teil I: Kurzbericht (wird veröffentlicht)
- Teil II: Eingehende Darstellung (wird veröffentlicht)
- Teil III: Erfolgskontrollbericht (ausschließlich interne Verwendung durch BMBF, wird nicht veröffentlicht).

Alle Berichtsteile sind gemeinsam, aber jeweils als separate Dokumente vorzulegen. Zur Wahrung berechtigter Interessen des Zuwendungsempfängers oder Dritter ist auf vertraulich zu behandelnde Passagen ausdrücklich hinzuweisen.


— NKBF 2017, Anlage 2

Anforderungen an den vorliegenden Teil des Sachbericht

Im Teil I ist ein Kurzbericht (max. 2 Seiten) mit einer Darstellung des Projektergebnisses vorzulegen. Dieser soll in allgemein verständlicher Form das Vorhaben darstellen und umfasst:

- die ursprüngliche Aufgabenstellung sowie den wissenschaftlichen und technischen
- Stand, an den angeknüpft wurde
- den Ablauf des Vorhabens
- die wesentlichen Ergebnisse sowie ggf. die Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

— NKBF 2017, Anlage 2

| | | |
|---|-------------------------------------|-------------|
|  Leichtwerk AG | Sachbericht zum Verwendungsnachweis | |
| FKZ: 16SV8629 | SAMMIE | Revision: B |

1 Definitionen und Abkürzungen

| | |
|------------------|--|
| BMBF | Bundesministerium für Bildung und Forschung |
| BVLOS | Beyond Visual Line-of-Sight |
| CAS | Collision Avoidance System |
| CPA | Closest Point of Approach |
| DAA | Detect-and-Avoid |
| EASA | European Aviation Safety Agency |
| EU | Europäische Union |
| HAP | Hauptarbeitspaket |
| GUI | Graphical User Interface |
| MMS/MMI | Mensch-Maschine-Schnittstelle/ Mensch-Maschine-Interface |
| NKBF 2017 | Nebenbestimmungen für Zuwendungen auf Kostenbasis des Bundesministeriums für Bildung und Forschung an gewerbliche Unternehmen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben |
| SAMMIE | Design und Evaluation einer Mensch-Maschine-Schnittstelle für Drohnenpiloten |
| SORA | Specific Operations Risk Assessment |
| UAS | Unmanned Aerial System |
| UAV | Unmanned Aerial Vehicle |
| VLOS | Visual Line-of-Sight |

2 Ursprüngliche Aufgabenstellung


Das Projekt hatte das Ziel, neue Darstellungskonzepte und Technologien zu entwickeln, welche einem Drohnenpiloten ein hinreichendes Verkehrsbewusstsein zur Verfügung stellen können, damit er eine Drohne oder ein Lufttaxi sicher durch den Luftraum steuern kann, ohne anderen Luftverkehr zu gefährden. Hierbei sollten alle zur Verfügung stehenden Luftlagedaten in einer Darstellung fusioniert werden, um eine speziell für Drohnenanwendungen optimale Mensch-Maschine-Schnittstelle im Hinblick auf anderen Flugverkehr und die Kollisionsvermeidung anbieten zu können. Somit sollten mit diesem Vorhaben die folgenden genannten Forschungsthemen des Themenfeldes behandelt werden:

- “Technologien zur Erfassung und Lenkung der Aufmerksamkeit von Fahrerinnen und Fahrern in teil-automatisierten Fahrzeugen”
- “Benutzerfreundliche Darstellung von Informationen über den aktuellen Zustand des Fahrzeugs und über die Verkehrssituation für Fahrzeugführende und Insassen”
- “Mechanismen zur Übernahme und Rückgabe von Kontrolle und zur Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Fahrzeug”

3 Stand der Technik zu Beginn des Vorhabens

Zu Beginn des Forschungsvorhabens wurde der Betrieb von unbemannten Luftfahrssystemen (UASs) durch Durchführungsverordnung (EU) 2019/947 der Europäischen Kommission innerhalb der EU reguliert [3]. Diese im Verlauf des Vorhabens ergänzte Verordnung unterteilt den Flugbetrieb mit UASs in drei Kategorien:

- **open category UAS**, deren Betrieb aufgrund ihrer geringen Masse und ihres Einsatzortes eine geringe Gefährdung für Dritte darstellt und die immer in Sichtweite des Fernpiloten oder eines Luftraumbeobachters durchgeführt wird (VLOS-Betrieb). Weder ist eine behördliche Zustimmung für den Betrieb notwendig, noch muss das UAS selbst zugelassen sein.

| | | |
|--|-------------------------------------|-------------|
|  Leichtwerk AG | Sachbericht zum Verwendungsnachweis | |
| FKZ: 16SV8629 | SAMMIE | Revision: B |

- **specific category UAS**, die weder in die Kategorie „open“ noch „specific“ fallen, wie beispielsweise der Betrieb außerhalb der Sichtweite von Fernpilot und Luftraumbeobachter (BVLOS-Betrieb). Für sie ist eine behördliche Zustimmung zum Betrieb notwendig.
- **certified category UAS**, die über Ansammlungen von Leuten oder zum Personen- oder Gefahrgut-Transport betrieben werden und somit eine deutliche Gefährdung für Dritte darstellen können. Eine Zulassung des UAS sowie des Betreibers und ggf. des Fernpiloten durch die zuständigen Behörden ist erforderlich.

Für das Forschungsvorhaben relevant war hierbei die Kategorie „specific“, da diese den BVLOS-Betrieb abdeckt. Im Rahmen ihrer Zuständigkeit erließ die EASA Entscheidung ED Decision 2020/022/R, welche ein Verfahren zur Risikobewertung und -minimierung als behördlich anerkannt deklariert [1]. Dieses als SORA bekannte Verfahren stellt u. A. technische Anforderungen an das UAS in Abhängigkeit vom ermittelten Risiko für bemannte Luftfahrzeuge, welches vom Betrieb des UAS ausgeht. Diese technischen Anforderungen betreffen teils explizit die MMS eines DAA-Systems, welches selbst noch kein Stand der Technik beim unbemannten Fliegen darstellt.

4 Ablauf des Vorhabens


Das Vorhaben wurde u.A. von der Leichtwerk Research GmbH geplant und realisiert worden, die im Laufe des Projektes ins Unternehmen Leichtwerk AG fusioniert wurde.

4.1 HAP 1 – System- Anforderungs- und Taskanalyse

Als übergeordnetes Designziel wurde die BVLOS-Fähigkeit (Beyond Visual Line of Sight) für bestimmte SAIL-Klassen erfasst. Hierbei wurde erkannt, dass dies unterschiedliche Ausprägungen in Abhängigkeit vom eingesetzten UAV und dessen Mission haben kann. Ein Fernpilot soll bis zu 10 UAVs gleichzeitig steuern können, wobei ein mittlerer Automatisierungsgrad, der sowohl Benutzer als auch Algorithmen in die Entscheidungsfindung einbezieht, angestrebt wird. Die Konfliktauflösung soll zentralisiert erfolgen und ohne explizite Koordination der Teilnehmer möglich sein. Stakeholder-Analysen wurden zusammen mit Betreibern flächendeckender Infrastruktur, medizinischen Einrichtungen, Polizei und Feuerwehr durchgeführt. Als Einsatzszenarien wurden betrieblicher Güterverkehr, z.B. zeitkritische medizinische Transporte, und die Bereitstellung von Mobilfunk in abgelegenen Gebieten identifiziert. Technisch wird ein integrierter Ansatz verfolgt, bei dem die Software eigenständig lauffähig ist, Steuersignale senden und Verkehrsdaten fusionieren kann. Modellierung und Entwicklung erfolgen mit Enterprise Architect, Inkscape, GitLab, Python und dem Qt-Framework. Referenzszenarien für die Evaluation umfassen medizinische Gütertransporte und Pipelineinspektionen, die in der Software BlueSky [4] simuliert werden, um die Konfliktlösungsalgorithmen zu testen und zu verbessern. Außerdem wurden Grundlagen der Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen berücksichtigt [2].

4.2 HAP 2 – Systemkonzipierung

Aktuelle Konzepte zur Darstellung von Kollisionswarnungen wurden recherchiert und Methoden zur Konfliktdarstellung auf Karten entwickelt, wobei der Fokus auf der Methode der CPAs (Closest Point of Approach) liegt, die den kürzesten Abstand der Konfliktteilnehmer und die Kritikalität als Indikator verwendet. Neben der Kartendarstellung wurde ein Konzept zur Abbildung der Konflikte auf Flugstreifen erstellt, um die Übersicht bei der Steuerung mehrerer Drohnen zu verbessern. Module zur Konflikterkennung und -auflösung wurden definiert, die Positionen, Geschwindigkeiten und Konfliktdaten verarbeiten. Simulierte Luftverkehrsdaten dienen als Datenbasis, um zuvor definierte Szenarien in der Luftverkehrssimulation validieren zu können. Die Mensch-Maschine-Schnittstelle nutzt Kartenansichten, z.B. Mapbox [5], für die laterale Darstellung und vertikale Profile für die Konfliktabbildung. Der RVO-Algorithmus und die NASA

| | | |
|--|-------------------------------------|-------------|
|  Leichtwerk AG | Sachbericht zum Verwendungsnachweis | |
| FKZ: 16SV8629 | SAMMIE | Revision: B |

DAIDALUS-Bibliothek wurden für Kollisionsvermeidungsalgorithmen analysiert. Software-Requirements wurden in Enterprise Architect erstellt. Die Evaluationsumgebung umfasst Anforderungen und die Validierung von Simulationsumgebungen wie Ardupilot, BlueSky und XPlane, wobei BlueSky als Hauptsimulationsumgebung festgelegt wurde.

4.3 HAP 3 – Implementierung

Zunächst wurde das Softwareprojekt eingerichtet und GUI-Elemente für Karten, Vertikalprofile, Statuslisten und Schaltflächen implementiert. Die Logik für die Auswertung der Konfliktauflösungsvorschläge wurde ebenfalls integriert. In der Logik-Software wurden der RVO-Algorithmus angebunden und modifiziert sowie Berechnungen für den Closest Point of Approach (CPA) und Loss of Separation implementiert. Schnittstellen für Luftverkehrsdaten, ermittelte Konflikte und berechnete Auflösungsvorschläge wurden entwickelt und in die Applikationen eingebunden, wobei Docker-Container zur Sicherstellung der Interoperabilität verwendet wurden.

4.4 Evaluation & iterative Optimierung

Im Rahmen der Umsetzung der Darstellungs- und Logik-Software für das Kollisionswarnsystem wurden verschiedene Anpassungen und Evaluationsschritte vorgenommen. Zunächst wurden im ersten Iterationsschritt die Kontrollflächen vereinfacht, um eine schnellere Konfliktauflösung zu ermöglichen. Im zweiten Iterationsschritt wurden die UI-Modelle angepasst, um die Aufnahme der Konfliktauflösungsvorschläge zu verbessern. Zusätzlich wurde eine Versuchsumgebung für praktische Flugversuche aufgebaut, wobei die Software-Module in eine Windows-Arbeitsumgebung portiert und getestet wurden.

5 Wesentliche Ergebnisse

Im Rahmen des Projekts SAMMIE wurden verschiedene zentrale Komponenten und Ergebnisse erzielt:

5.1 CAS-Mensch-Maschine-Interface (MMI) am Leitstand:


Es wurde eine Verkehrslagedarstellung implementiert, die dem Fernpiloten einen umfassenden Überblick über die aktuelle Luftverkehrssituation ermöglicht. Diese Darstellung unterstützt die taktische Konfliktauflösung, indem potenzielle Konflikte frühzeitig identifiziert und entsprechende Ausweichmanöver vorgeschlagen werden. Zudem wurde eine Funktion zur automatischen Aktivierung bei Inaktivität entwickelt, die sicherstellt, dass das System auch bei fehlender Interaktion des Fernpiloten den Konflikt sicher auflösen kann.

5.2 CAS-Logik zur Erkennung von Konflikten und Erstellung von Ausweichempfehlungen:

Die Logik des Systems umfasst die Bereitstellung und Verarbeitung von Verkehrsdaten, die von verschiedenen Quellen gesammelt werden. Auf dieser Basis werden die Closest Points of Approach (CPA) berechnet, um den kürzesten Abstand zwischen den Luftfahrzeugen zu bestimmen und die Kritikalität potenzieller Konflikte zu bewerten. Dies ermöglicht die Erstellung präziser und effektiver Ausweichempfehlungen, die dem Fernpiloten zur Entscheidung vorgelegt werden.

5.3 Simulationsumgebung für den Test des CAS-Systems:

Eine umfangreiche Simulationsumgebung wurde eingerichtet, um das CAS-System unter kontrollierten Bedingungen zu testen und zu validieren. Diese Umgebung ermöglicht es, verschiedene Szenarien zu simulieren und die Leistung des Systems in unterschiedlichen Verkehrslagen und Konfliktsituationen zu bewerten.


| | | |
|--|-------------------------------------|-------------|
|  Leichtwerk AG | Sachbericht zum Verwendungsnachweis | |
| FKZ: 16SV8629 | SAMMIE | Revision: B |

5.4 UAV als Konflikteilnehmer für Realversuche:

Zusätzlich zu den Simulationstests wurden UAVs als Konflikteilnehmer in Realversuchen eingesetzt. Diese Tests dienen dazu, die Funktionalität und Effektivität des CAS-Systems in realen Flugbedingungen zu überprüfen und sicherzustellen, dass die entwickelten Algorithmen und Lösungen auch in der Praxis zuverlässig arbeiten. Diese Ergebnisse bilden die Grundlage für die weitere Entwicklung und Optimierung des Kollisionswarnsystems, das eine sichere und effiziente Integration von UAVs in den Luftraum ermöglicht.

6 Referenzen

1. EASA. Executive Director Decision 2020/022/R of 15 December 2020 issuing the following: Amendment 1 to the Acceptable Means of Compliance and Guidance Material of Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947 and to the Annex (Part-UAS) thereto 'AMC and GM to Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947 — Issue 1, Amendment 1' 'AMC and GM to Part-UAS — Issue 1, Amendment1, 2020.
2. DIN-Normenausschuss Ergonomie. Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 210: Menschzentrierte Gestaltung interaktiver Systeme. DIN EN ISO 9241-210, DIN, 2020.
3. Europäische Kommission. Durchführungsverordnung (EU) 2019/947 der Kommission vom 24. Mai 2019 über die Vorschriften und Verfahren für den Betrieb unbemannter Luftfahrzeuge. Amtsblatt der Europäischen Union, L 152:45–71.
4. Jacco M. Hoekstra and Joost Ellerbroek. Bluesky ATC simulator project: An open data and open source approach. In 7th International Conference on Research in Air Transportation: Philadelphia, USA, 2016.
5. Mapbox. Mapbox GL JS: Current version v3.1.2. <https://docs.mapbox.com/mapbox-gl-js/guides/>,2024.

| | | |
|---|-------------------------------------|-------------|
|  Leichtwerk AG | Sachbericht zum Verwendungsnachweis | |
| FKZ: 16SV8629 | SAMMIE | Revision: D |


Sachbericht zum Verwendungsnachweis

SAMMIE Design und Evaluation einer Mensch-Maschine-Schnittstelle für
Drohnenpiloten

Teil 2: Schlussbericht


Autoren: Paul Frost, Thomas Krüger

All rights reserved. Reproduction or disclosure to third parties of this document or any part thereof is not permitted, except with the prior and express written permission of LEICHTWERK AG.

| | | |
|--|-------------------------------------|-------------|
|  Leichtwerk AG | Sachbericht zum Verwendungsnachweis | |
| FKZ: 16SV8629 | SAMMIE | Revision: D |

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | DEFINITIONEN UND ABKÜRZUNGEN..... | 4 |
| 2 | EINFÜHRUNG..... | 5 |
| 3 | AUSFÜHRLICHER ARBEITSBERICHT..... | 6 |
| 3.1 | STAKEHOLDER-ANALYSE ZU BEMANNTEN UND UNBEMANNTEN LUFTVERKEHRSTEILNEHMERN | 6 |
| 3.2 | ANFORDERUNGSANALYSE | 7 |
| 3.3 | LUFTRECHTLICHE ANFORDERUNGEN AN DEN BETRIEB MIT UASS | 9 |
| 3.4 | SYSTEMARCHITEKTUR | 9 |
| 3.5 | DEFINITION DER LOGIK FÜR KONFLIKTERKENNUNG UND -AUFLÖSUNG | 10 |
| 3.6 | DEFINITION DER MENSCH-MASCHINE-SCHNITTSTELLE EINER VERKEHRS- LAGEANZEIGE | 12 |
| 3.7 | ERSTE ITERATION DER HMI..... | 13 |
| 3.8 | AUFBAU DER TESTUMGEBUNG | 14 |
| 3.9 | VALIDIERUNG | 14 |
| 3.10 | INTEGRATION AUF DEMOSYSTEM | 15 |
| 4 | ERGÄNZUNGEN..... | 15 |
| 4.1 | WICHTIGSTE POSITIONEN DES ZAHLENMÄßIGEN NACHWEISES..... | 15 |
| 4.2 | NOTWENDIGKEIT UND ANGEMESSENHEIT DER GELEISTETEN PROJEKTARBEIT | 16 |
| 4.3 | VORAUSSICHTLICHER NUTZEN | 16 |
| 4.4 | BEKANNTER ZEITGLEICHER FORTSCHRITT ANDERER STELLEN | 16 |
| 4.5 | ERFOLGTE UND GEPLANTE VERÖFFENTLICHUNGEN DER ERGEBNISSE..... | 16 |
| 5 | REFERENZEN..... | 17 |

| | | |
|--|--|-------------|
|  Leichtwerk AG | Sachbericht zum Verwendungsnachweis | |
| FKZ: 16SV8629 | SAMMIE | Revision: D |

Allgemeine Anforderungen an den Sachbericht

Als Teil des Verwendungsnachweises ist – neben dem zahlenmäßigen Nachweis – ein fachlicher Sachbericht zu erstellen, in dem die Durchführung des Vorhabens und die Erreichung der Projektziele darzustellen sind. Mit ihm beurteilt das BMBF zum einen, ob die Fördermittel für die vorgesehenen Zwecke verwendet wurden, zum anderen dient er der Evaluierung des vorliegenden Vorhabens wie auch des zugrunde liegenden Förderschwerpunktes bzw. -programms. Er gliedert sich in drei Teile:

- Teil I: Kurzbericht (wird veröffentlicht)
- Teil II: Eingehende Darstellung (wird veröffentlicht)
- Teil III: Erfolgskontrollbericht (ausschließlich interne Verwendung durch BMBF, wird nicht veröffentlicht).

Alle Berichtsteile sind gemeinsam, aber jeweils als separate Dokumente vorzulegen. Zur Wahrung berechtigter Interessen des Zuwendungsempfängers oder Dritter ist auf vertraulich zu behandelnde Passagen ausdrücklich hinzuweisen.


— NKBF 2017, Anlage 2

Anforderungen an den vorliegenden Teil des Sachbericht

Im Teil II sind die im Rahmen des Vorhabens durchgeführten Arbeiten ausführlicher darzustellen, insbesondere im Vergleich zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung. Bei Einzelvorhaben soll möglichst ein Umfang von 20 Seiten nicht überschritten werden. Die Verwendung der Zuwendung sowie die erzielten Ergebnisse im Einzelnen müssen nachvollziehbar sein. Dabei sind ergänzend zu den Inhalten darzustellen:


- die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises
- die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten
- der voraussichtliche Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses -
- auch konkrete Planungen für die nähere Zukunft - im Sinne des fortgeschriebenen
- Verwertungsplans
- der während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger
- bekannt gewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen
- Stellen
- die erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 der NKBF

— NKBF 2017, Anlage 2

| | | |
|--|-------------------------------------|-------------|
|  Leichtwerk AG | Sachbericht zum Verwendungsnachweis | |
| FKZ: 16SV8629 | SAMMIE | Revision: D |

1 Definitionen und Abkürzungen

| | |
|------------------|--|
| BMBF | Bundesministerium für Bildung und Forschung |
| BVLOS | Beyond Visual Line-of-Sight |
| CAS | <i>Collision Avoidance System</i> |
| CPA | Closest Point of Approach |
| DAA | Detect-and-Avoid |
| EASA | European Aviation Safety Agency |
| EU | Europäische Union |
| HAP | Hauptarbeitspaket |
| GUI | Graphical User Interface |
| MMS/MMI | Mensch-Maschine-Schnittstelle/ Mensch-Maschine-Interface |
| NKBF 2017 | Nebenbestimmungen für Zuwendungen auf Kostenbasis des Bundesministeriums für Bildung und Forschung an gewerbliche Unternehmen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben |
| SAMMIE | Design und Evaluation einer Mensch-Maschine-Schnittstelle für Drohnenpiloten |
| SORA | Specific Operations Risk Assessment |
| TCAS | Traffic Alert and Collision Avoidance System |
| UAS | Unmanned Aerial System |
| UAV | Unmanned Aerial Vehicle |
| VLOS | Visual Line-of-Sight |

| | | |
|---|--|-------------|
|  | Sachbericht zum Verwendungsnachweis | |
| FKZ: 16SV8629 | SAMMIE | Revision: D |

2 Einführung

Konfliktvermeidung kann auf unterschiedliche Arten erfolgen. Im Rahmen vom Forschungsprojekt SAMMIE soll eine zentrale Konfliktauflösung konzipiert und erstellt werden. Anders als beim taktischen Konfliktauflösungssystem der bemannten Luftfahrt, dem TCAS (Traffic Alert and Collision Avoidance System), soll der Fernpilot über mehrere Ausweichmöglichkeiten verfügen, die im taktischen Zeitbereich liegen. Hierbei werden etwa 2 bis 5 Minuten bis zur Unterschreitung der Separationsminima anvisiert. In Abbildung 1 werden die in der Luftfahrt etablierten Ebenen des Konfliktmanagement sowie die etablierten Methodiken dargestellt. In den unterschiedlichen Ebenen (z.B. Separation und Konfliktvermeidung) gibt es jeweils mehrere Methodiken, wie beispielsweise Systeme die auf einer kooperativer (z.B. Transponder) bzw. unkooperativer (z.B. RADAR oder auf Sicht) Datenerfassung basieren.

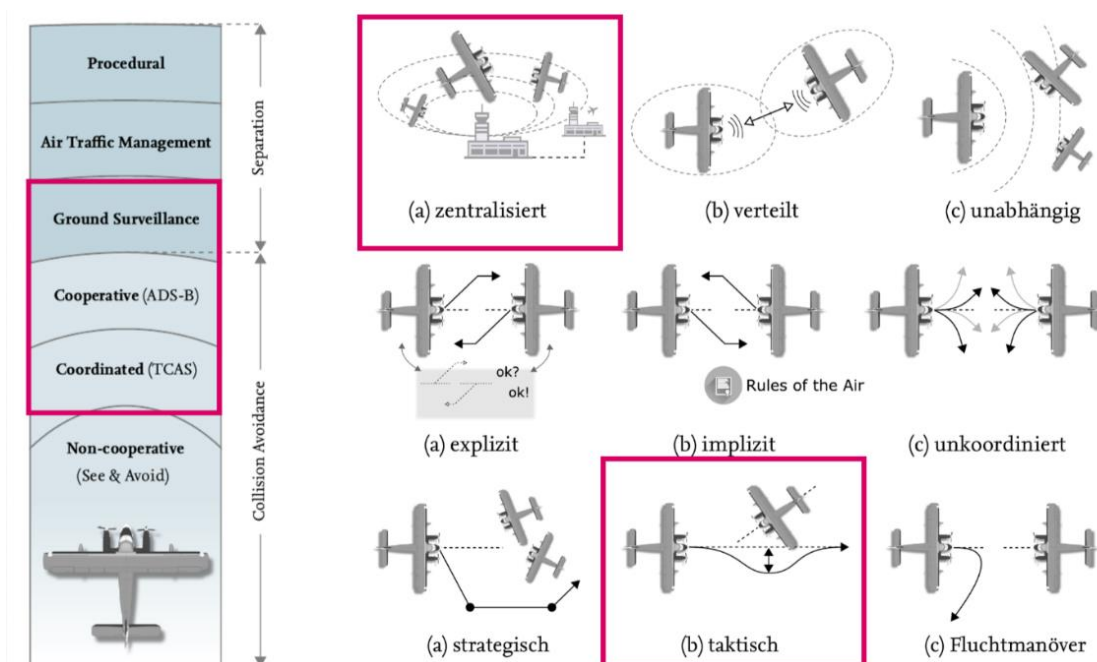



Abbildung 1: Ebenen des Konfliktmanagement in der Luftfahrt

Nachfolgend wird in Abbildung 2 das angestrebte Zielsystem visualisiert. Diese beinhaltet einen Entwurf für eine Systemarchitektur, den Informationsfluss zwischen den Systemen sowie die angestrebten Komponenten. Die Verkehrslage soll über verschiedenen Quellen zusammengeführt und verarbeitet werden. Die Konflikterkennung kann verbessert werden, wenn die Absichten der jeweiligen Luftfahrzeuge bekannt sind. Daher werden neben den aktuellen Zuständen auch Flugpläne ebenfalls zur Entscheidungsfindung hinzugezogen. Danach wird entschieden ob es einen Konflikt gibt und wie dieser wieder aufgelöst werden kann. Am Ende dieser Prozesskette findet die Visualisierung der Ergebnisse für den Piloten bzw. Operator statt.

| | | |
|---|-------------------------------------|-------------|
|  Leichtwerk AG | Sachbericht zum Verwendungsnachweis | |
| FKZ: 16SV8629 | SAMMIE | Revision: D |

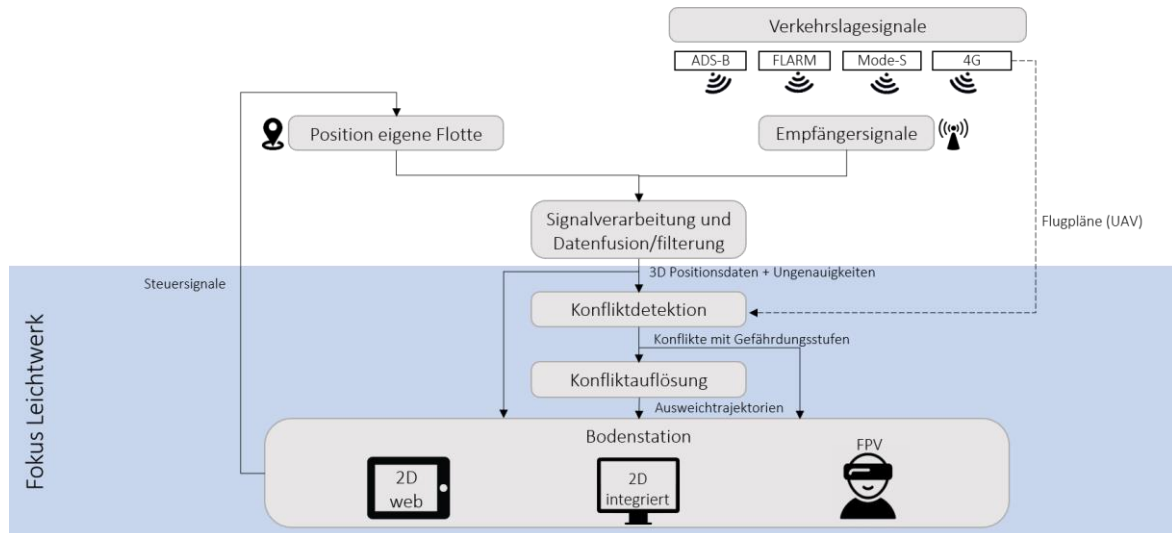


Abbildung 2: Systemübersicht über das angestrebte Zielsystem

3 Ausführlicher Arbeitsbericht


3.1 Stakeholder-Analyse zu bemannten und unbemannten Luftverkehrsteilnehmern

Im Rahmen des Forschungsprojekts SAMMIE wurde eine umfassende Stakeholder-Analyse durchgeführt, um die Entwicklung einer Human-Machine-Interface (HMI) für ein Conflict Avoidance System (CAS) von unbemannten Luftfahrzeugen (UAVs) zu unterstützen. Die Analyse identifizierte Stakeholder, die maßgeblich von der Implementierung dieses Systems profitieren könnten, darunter Logistikbetreiber, Industrieunternehmen, Behörden, die Landwirtschaft sowie Privatpersonen.

Logistikbetreiber sind besonders an der sicheren und effizienten Zustellung von Gütern mittels UAVs interessiert. Für sie stellt das CAS eine entscheidende Komponente dar, um die Betriebsabläufe zu optimieren und das Risiko von Kollisionen zu minimieren. Industrieunternehmen, die UAVs für Inspektionsflüge und Überwachungsaufgaben in Bereichen wie Energie und Infrastruktur einsetzen, sehen in dem System eine Möglichkeit, die Sicherheit und Effizienz ihrer Einsätze zu verbessern.

Behörden haben ein starkes Interesse an der Überwachung und Regulierung von UAV-Einsätzen, um die Einhaltung gesetzlicher Bestimmungen und die Sicherheit im Luftraum zu gewährleisten. Ein effizientes CAS unterstützt sie dabei, diese Aufgaben effektiver zu erfüllen. In der Landwirtschaft ermöglichen UAVs den Landwirten eine präzise Überwachung und Verwaltung ihrer Felder. Das CAS trägt dazu bei, die Betriebssicherheit dieser UAVs zu gewährleisten, was für die Ernteüberwachung und andere landwirtschaftliche Anwendungen von großem Nutzen ist.

Privatpersonen, die UAVs für Luftbildaufnahmen und andere kommerzielle oder persönliche Zwecke nutzen, profitieren ebenfalls von einem robusten Conflict Avoidance System. Für sie bedeutet ein solches System nicht nur eine erhöhte Betriebssicherheit, sondern auch die Möglichkeit, UAVs in einer Vielzahl von Anwendungen sicherer und effektiver einzusetzen.

| | | |
|--|--|-------------|
|  Leichtwerk AG | Sachbericht zum Verwendungsnachweis | |
| FKZ: 16SV8629 | SAMMIE | Revision: D |

Zusätzlich wurden spezifische Anwendungsfälle identifiziert, in denen das CAS eine entscheidende Rolle spielen kann. Diese umfassen den Transport von Gütern, Inspektionsflüge, Luftbildaufnahmen, Drohnenabwehr, die Suche nach Vermissten und die Bereitstellung von Diensten wie Mobilfunk in schwer zugänglichen Gebieten. Durch die Unterstützung einer 1:n Verbindung zwischen dem Fernpiloten und mehreren Drohnen sowie die Kompatibilität mit verschiedenen Drohrentypen stellt das CAS sicher, dass es flexibel und vielseitig einsetzbar ist.

Die Automatisierungsstufe des CAS wird auf Stufe 4 festgelegt, was bedeutet, dass das System Handlungsvorschläge unterbreiten kann, die jedoch vom Bediener bestätigt werden müssen. Diese Form der Automatisierung gewährleistet eine hohe Sicherheit und Kontrolle, indem sie den Bediener aktiv in den Entscheidungsprozess einbezieht.


Neben der theoretischen Stakeholderanalyse wurden zusätzlich Gespräche mit zwei Vertretern dieser Stakeholder geführt. Diese werden nachfolgend zusammengefasst:

SAM-DIMENSION GmbH ist ein Start-Up-Unternehmen, welches Kartierungsdienste unter Einsatz von UASs für die Landwirtschaft anbietet. Ziel der Dienste ist es, auf Basis tagesaktueller Bewuchskarten, Herbizide und Pestizide gezielter auszubringen. Wesentliche Erkenntnisse im Gespräch mit den Geschäftsführern der SAM-DIMENSION GmbH waren (a) der wahrgenommene Bedarf eines Dienstes eines DAA-Dienstes zur Kollisionsvermeidung, (b) das Interesse an einer plattformunabhängigen Nachrüstlösung zur Realisierung eines DAA-Dienstes, (c) die saisonal stark schwankende Nachfrage nach den von SAM-DIMENSION GmbH entwickelten Kartierungsdiensten, sowie (d) die häufig nur schlecht gewährte Abdeckung mit mobilen Internetdiensten im ländlichen Einsatzgebiet der SAM-DIMENSION GmbH.[6]

ADAC Luftrettung GmbH ist ein Unternehmen, welches Hubschrauber-gestützte Luftrettungs- und Krankentransportdienste anbietet. Dies erfordert, dass ein Großteil der Flüge im von UASs mit genutzten Lufträumen stattfindet und die eingesetzten Hubschrauber somit einer nennenswerten Gefährdung durch UASs ausgesetzt sind. Im Austausch mit Piloten und Stabsvertretern der ADAC Luftrettung gGmbH gewann das Projektkonsortium wesentliche Erkenntnisse, welche die gesamte Verarbeitungskette eines DAA-Dienstes beeinflussen. Diese Erkenntnisse sind u. A. (a) die wirtschaftlich bedingte geringe Ausstattungsquote der Luftrettungsflotte mit ADS-B-fähigen Transpondern und damit einhergehende schlechte elektronische Sichtbarkeit, (b) die schlechte elektronische Sichtbarkeit von bemannten und unbemannten Luftfahrzeugen aufgrund der Hindernissituation bei Rettungseinsätzen im urbanen Raum, (c) die gelegentlich durch die Rettungsleitstellen geänderten Missionen eines Rettungshubschraubers während eines Fluges, sowie (d) die häufig aufgrund taktischer Gefährdungsbeurteilung durch die Besatzung getroffenen Entscheidungen zur kurzfristigen Änderung von Landeorten im Einsatzgebiet. Vor allem die letzten beiden Punkte führen zu einer geringen Vorhersagbarkeit des Verhaltens von Rettungshubschraubern und erschweren die Darstellung und Verhaltensmodellierung in einem DAA-System. [6]

3.2 Anforderungsanalyse

Die Systemarchitektur für ein Konfliktlösungs-System für unbemannte Flugsysteme (UAS) muss eine Vielzahl von Anforderungen erfüllen, um eine sichere und effiziente Verwaltung der UAS im Luftraum zu gewährleisten. Diese Anforderungen lassen sich in verschiedene Kategorien unterteilen, die jeweils spezifische Funktionen und Fähigkeiten des Systems beschreiben. Nachfolgend werden die wichtigsten Anforderungen vorgestellt.

| | | |
|--|--|-------------|
|  Leichtwerk AG | Sachbericht zum Verwendungsnachweis | |
| FKZ: 16SV8629 | SAMMIE | Revision: D |

3.2.1 Konflikterkennung und -lösung

Das System muss in der Lage sein, Konflikte frühzeitig zu erkennen und geeignete Lösungen zu generieren (REQ-LW-001). Konflikte sollen spätestens 120 Sekunden vor dem Erreichen des nächsten Annäherungspunktes (CPA) erkannt werden (REQ-LW-023), und eine Konfliktlösung soll 30 Sekunden vor Erreichen des CPA durchgeführt werden (REQ-LW-004). Die Konfliktlösungen müssen die Konfliktflugzeuge, einen Lösungsvorschlag und einen Zeitstempel enthalten (REQ-LW-003).

3.2.2 Darstellung und Filterung von Flugzeugen

Alle Flugzeuge innerhalb des sichtbaren Kartenbereichs und einem Höhenbereich von 100 Metern über und unter der maximalen und minimalen Höhe der kontrollierten Flugzeuge sollen dargestellt werden (REQ-LW-002). Es muss möglich sein, den Höhenbereich zum Filtern der Flugzeuge einzustellen (REQ-LW-005).

3.2.3 Benutzerinteraktion und Kontrollmöglichkeiten

Der Fernpilot muss verschiedene Steuerungsmöglichkeiten haben, darunter das Auswählen eines Konfliktlösungsbefehls (REQ-LW-006), das Aktivieren einer Lösung innerhalb von 5 Sekunden (REQ-LW-012), und das Einleiten eines Warteschleifenmusters (REQ-LW-013). Weiterhin muss der Pilot in der Lage sein, die automatisch generierten Konfliktlösungen zu modifizieren (REQ-LW-014), die Route der UAS zu ändern (REQ-LW-015), eine Geschwindigkeit (REQ-LW-016) und eine Höhe für die kontrollierte UAS festzulegen (REQ-LW-017) sowie seine Änderungen an der Konfliktlösung rückgängig zu machen (REQ-LW-018).

3.2.4 Algorithmen und Leistungsgrenzen

Die Konfliktlösungsalgorithmen müssen die gewünschte Trajektorie für den Umleitungsbehl berücksichtigen (REQ-LW-008) und dürfen die Fluggrenzen des UAS nicht überschreiten (REQ-LW-009). Konfliktlösungen dürfen keine neuen Konflikte erzeugen, sofern die Flugzeuge ihre Geschwindigkeit und Richtung beibehalten (REQ-LW-010). Der Algorithmus muss das umliegende Verkehrsaufkommen innerhalb von 60 Sekunden berücksichtigen (REQ-LW-020) und in der Lage sein, Konflikte für mehrere Flugzeugtypen und mehrere gleichzeitige Konflikte zu lösen (REQ-LW-027, REQ-LW-028).


3.2.5 Sicherheits- und Bedienelemente

Das Mensch-Maschine-Interface (MMI) muss dem Fernpiloten ein Bewusstsein für den Verkehr vermitteln (REQ-LW-011) und eine unbeabsichtigte Ausführung der Konfliktlösung verhindern (REQ-LW-021). Bei Abwesenheit von Konflikten darf der Pilot nicht von anderen Aufgaben abgelenkt werden (REQ-LW-022). Der Pilot muss zwischen steuerbaren und nicht steuerbaren UAS unterscheiden können (REQ-LW-025) und in der Lage sein, ein ausgewähltes UAS zu steuern (REQ-LW-026).

3.2.6 Sonstige Anforderungen

Das entwickelte System muss Flüge außerhalb der Sichtlinie (BVLOS) ermöglichen (REQ-LW-024) und die Anmeldung eines UAS für den Konfliktlösung-Service erlauben (REQ-LW-029). Konfliktlösungen sollen per Push-Benachrichtigungen verfügbar gemacht werden (REQ-LW-030), und die CPAs zu anderen Flugzeugen müssen kontinuierlich berechnet werden (REQ-LW-037).

Diese Anforderungen bilden das Fundament für die Entwicklung einer robusten, sicheren und benutzerfreundlichen Systemarchitektur zur Konfliktauflösung von unbemannten Flugsystemen.

| | | |
|--|--|-------------|
|  Leichtwerk AG | Sachbericht zum Verwendungsnachweis | |
| FKZ: 16SV8629 | SAMMIE | Revision: D |


3.3 Luftrechtliche Anforderungen an den Betrieb mit UASs

Bezüglich der Anforderungen an zukünftige Fernpiloten wurde davon ausgegangen, dass sie für die von uns betrachteten Missionen weder einen medizinischen Tauglichkeitsnachweis noch eine umfangreiche Pilotenausbildung erfordern. Alle weiteren technischen Anforderungen basieren auf aktuellen EU-Vorgaben und wurden entsprechend in der Anforderungsanalyse berücksichtigt. Da die Drohnenregularien noch relativ jung sind und stetig Anpassungen durchgeführt bzw. ergänzende Informationen veröffentlicht werden, musste diese Thematik mit entsprechenden Ressourcen bearbeitet werden.

3.4 Systemarchitektur

Das Hauptziel der Systemarchitektur ist es, durch die Integration fortschrittlicher Technologien und Algorithmen, Echtzeit-Datenverarbeitung sowie robuster Kommunikationssysteme, potenzielle Konflikte frühzeitig zu erkennen und effektive Maßnahmen zur Konfliktlösung einzuleiten. Dabei muss das System skalierbar, zuverlässig und benutzerfreundlich sein, um den Anforderungen der verschiedenen Stakeholder gerecht zu werden. Zusätzlich muss es alle relevanten regulatorischen Vorgaben und Luftfahrtstandards einhalten. In dieser Dokumentation wird die Systemarchitektur detailliert beschrieben, einschließlich der technischen, operationellen und regulatorischen Anforderungen sowie der eingesetzten Technologien und Strategien zur Konfliktauflösung. Die Architektur beinhaltet die folgenden Module:

- Cloud oder Rechenzentrum:
 - *Datenfusion*
Bei der Datenfusion werden die Verkehrszustandsdaten gesammelt, validiert und selektiert.
 - *Verkehrsdatenbank*
In der Verkehrsdatenbank werden die fusionierten Daten gesammelt und für die Module zur Berechnung von Konflikten bereitgestellt
 - *Logik zur Konflikterkennung und -auflösung*
Dieses Modul wird zur Berechnung von potentiellen Konflikten sowie den zugehörigen Auflösungsvorschlägen verwendet. Pro kontrolliertem Luftfahrzeug soll ein Modul gestartet werden. Auf diese Weise wird eine Skalierbarkeit erreicht, da dieses Modul auf mehrere Server verteilt werden kann.
- Auf dem unbemannten Flugsystem:
 - *UAV-Adapter*
Der UAV-Adapter bildet die Schnittstelle zwischen dem unbemannten Flugsystem und allen weiteren Systemen, die mit dem Luftfahrzeug interagieren müssen, wie zum Beispiel das Datenfusionsmodul oder die Leitstandsmodule.
- Leitstand:
 - *Benutzerschnittstelle für den Fernpiloten*
Über die Benutzerschnittstelle werden dem Fernpiloten Flugzustandsinformationen angezeigt und je nach Berechtigungen verfügt der Fernpilot über Steuerungsmöglichkeiten.

| | | |
|---|-------------------------------------|-------------|
|  Leichtwerk AG | Sachbericht zum Verwendungsnachweis | |
| FKZ: 16SV8629 | SAMMIE | Revision: D |

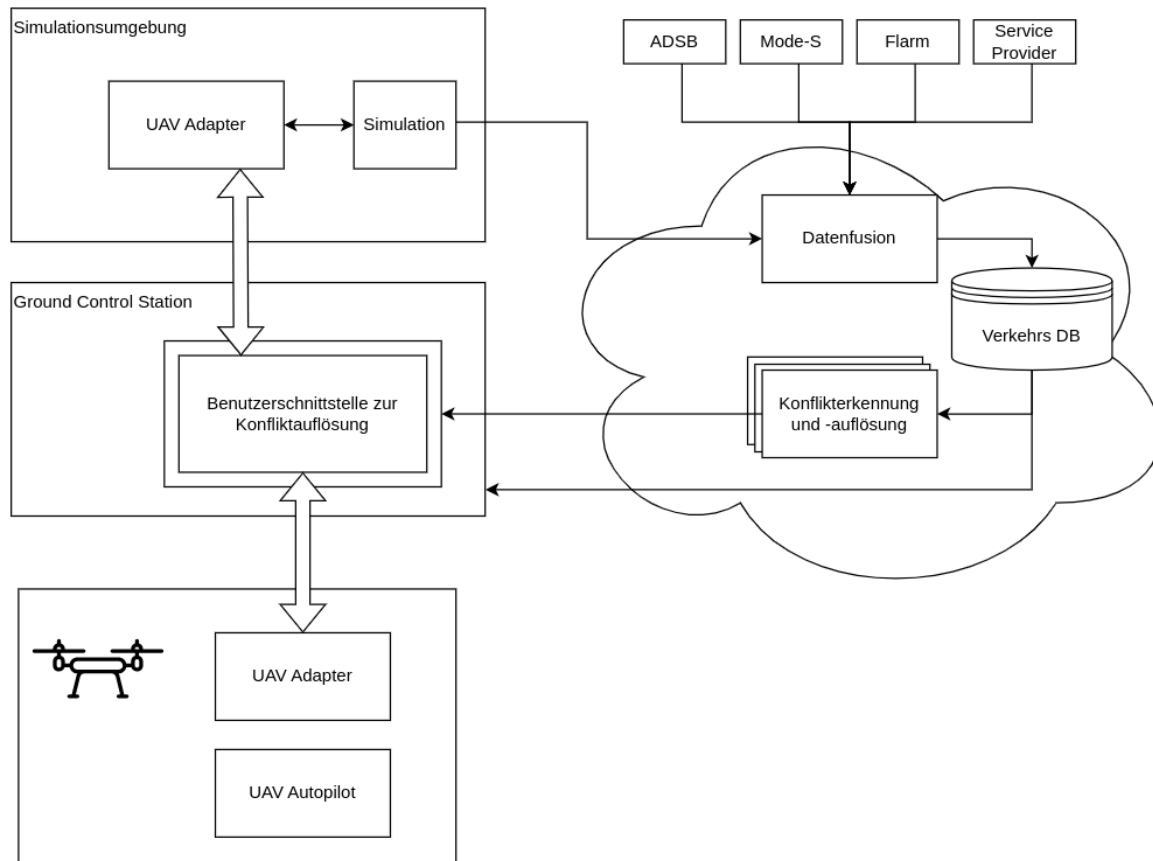



Abbildung 3: Systemarchitektur

3.5 Definition der Logik für Konflikterkennung und -auflösung

Die Logik zur Konflikterkennung und -auflösung (im Folgenden CAS-Logik genannt) ist ein eigenständiges Modul, das für jede kontrollierte Drohne gestartet werden kann. Es ruft die Verkehrsdaten von der Datenbank ab und berechnet sekundlich, ob Konflikte bestehen und mit welchen Manövern diese aufgelöst werden können. Hierfür verbindet sich die MMI zur Konfliktauflösung des Leitstands mit der CAS-Logik. Unabhängig ob ein Konflikt besteht werden die Positionsdaten an die verbundenen Module weitergeleitet, damit das Gesamtlagebild vorhanden ist.

3.5.1 Konflikterkennung

Während der Konfliktauflösung werden von der CAS Logik in definierten Zeitabständen Verkehrsdaten ausgewertet und für jeden anderen Verkehrsteilnehmer der Closest Point of Approach (CPA) und der mögliche Zeitpunkt berechnet, an dem die Separationsminima unterschritten werden. Für die Berechnung werden die aktuellen Positionen aller Verkehrsteilnehmer sowie deren Geschwindigkeiten über Grund verwendet. Wenn die Route eines Verkehrsteilnehmers bekannt ist, wird auch diese für die Berechnung einbezogen. Die Kritikalität eines Konflikts wird über den die Zeit bis zur Separationsunterschreitung bestimmt. In Anlehnung an das TCAS System wurden dabei die folgenden Kategorien definiert:

| | | |
|--|-------------------------------------|-------------|
|  Leichtwerk AG | Sachbericht zum Verwendungsnachweis | |
| FKZ: 16SV8629 | SAMMIE | Revision: D |

- 120 Sekunden:
 - Konflikt wird dem Fernpiloten in der ersten Warnstufe (orange) angezeigt
 - Ausweichempfehlungen werden eingeblendet
- 48 Sekunden:
 - Konflikt wird in der höchsten Warnstufe angezeigt (rot)
 - Zähler für die automatische Konfliktauflösung wird aktiviert
 - Alternative Ausweichmanöver können vom Fernpiloten ausgeführt werden
- 30 Sekunden:
 - Automatische Konfliktauflösung wird ausgeführt

Der Fernpilot hat somit bis zu 90 Sekunden Zeit den Konflikt zu erfassen und aufzulösen.

3.5.2 Konfliktauflösung

Für die Konfliktauflösung werden dem Fernpiloten Manöver berechnet mit den folgenden Freiheitsgraden:

- Geschwindigkeit
- Höhe
- Modifikation der Flugroute
- Warteschleife oder Schwebeflug
- Landung

Für die Freiheitsgrade Geschwindigkeit und Höhe werden Bereiche identifiziert, die Konfliktbehaftet sind. In Abbildung 2 ist beispielhaft ein Geschwindigkeitsband für ein UAV zu sehen, das in einem Geschwindigkeitsbereich von 0 und 20 m/s über Grund operiert und gegenwärtig mit einer Geschwindigkeit von 10 m/s fliegt. Die Logik hat einen Konflikt im Bereich zwischen 7 m/s und 14 m/s berechnet. Somit hat der Fernpilot die Optionen mindestens auf 15 m/s zu beschleunigen oder auf maximal 6 m/s zu verzögern.

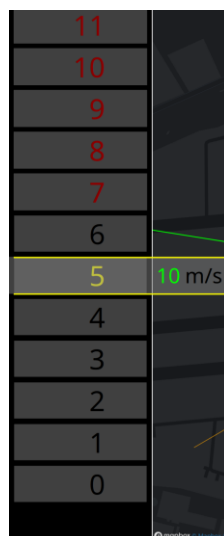



Abbildung 4: Geschwindigkeitsband in der HMI

| | | |
|---|--|-------------|
|  | Sachbericht zum Verwendungsnachweis | |
| FKZ: 16SV8629 | SAMMIE | Revision: D |

Bei der Anpassung der Flugroute wird ein Vorschlag ausgegeben. Dieser wird nach den folgenden Regeln errechnet:

1. Die Abweichung von der ursprünglichen Route soll minimal sein
2. Wenn möglich sollen vorhandene Wegpunkte als Abkürzung direkt angefliegen werden
3. Es soll vorzugsweise nach rechts ausgewichen werden

3.6 Definition der Mensch-Maschine-Schnittstelle einer Verkehrslageanzeige

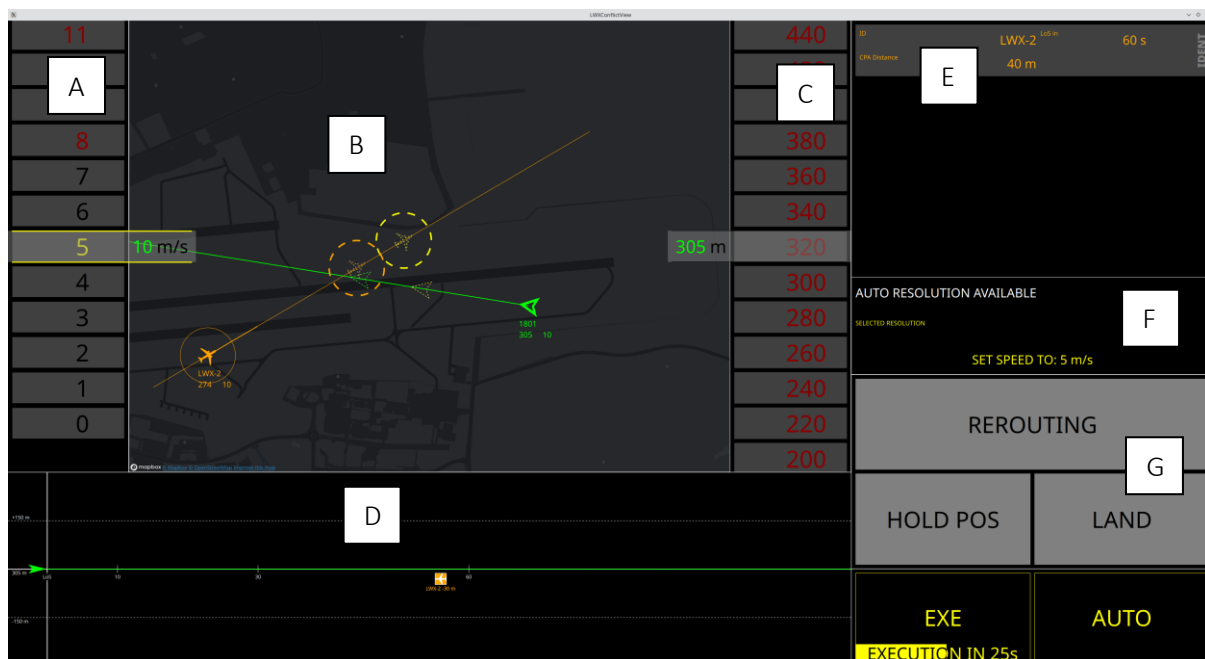



Abbildung 5: HMI der Konfliktvermeidung

3.6.1 Bereich A - Geschwindigkeitsanzeige

In der Geschwindigkeitsanzeige werden neben der aktuellen Geschwindigkeit (grün) die aus der Flightenvelope verfügbaren Geschwindigkeiten in einer Liste angezeigt. Dabei werden die konfliktbehafteten Werte in Rot dargestellt. Diese würden bei einer Auswahl zum Konflikt führen. Der Fernpilot kann die Werte direkt per Klick auswählen oder den gewünschten Wert über Scroll und Wischgesten analog zu der Bedienung eines Mobiltelefons in die Mitte bewegen. Der ausgewählte Wert wird in Gelb hervorgehoben und ist somit kohärent zur Kartendarstellung in Bereich B.

3.6.2 Bereich B – Radaransicht

In der Karte wird eine dem Radar nachempfundene exozentrische Ansicht dargestellt mit der Ausrichtung nach Norden. Bei der Erkennung eines Konflikts wird dieser automatisch in der Karte mit seinen Teilnehmern in der entsprechenden Zoomstufe angezeigt. Das zu kontrollierende Luftfahrzeug wird als grüner Pfeil angezeigt. Während die weiteren Verkehrsteilnehmer mit den Symbolen ihrer Luftfahrzeugkategorie abgebildet werden. Bei der Darstellung wird zwischen dem aktuellen (durchgezogene Linien) und dem projizierten Zustand (gestrichelte Linien) unterschieden. Zu den projizierten Zuständen zählen zum einen der berechnete Konflikt (in max. 120 Sekunden) und der temporäre CPA. Dieser stellt die kürzeste Distanz bei der Aktivierung des ausgewählten Manövers dar. In Abbildung 5 wäre das die Geschwindigkeitsänderung. Der temporäre CPA wird

| | | |
|--|--|-------------|
|  Leichtwerk AG | Sachbericht zum Verwendungsnachweis | |
| FKZ: 16SV8629 | SAMMIE | Revision: D |

mit jeder Anpassung des Manövers in Echtzeit berechnet. Somit können Änderungen der Geschwindigkeit und Flugroute direkt auf der Karte verifiziert werden.

3.6.3 Bereich C – Höhenanzeige

Die Höhenanzeige funktioniert analog zu der Geschwindigkeitsanzeige (Bereich A) mit den entsprechenden Höhenwerten in Meter.

3.6.4 Bereich D – Vertikalprofil

Im Vertikalprofil werden dem Fernpiloten die Höhen der eigenen Flugroute im Zeitbereich angezeigt. Auf diese Weise werden Konflikte mit unterschiedlichen Verkehrsteilnehmern vergleichbar. Die konfliktbehafteten Verkehrsteilnehmer werden relativ zu der eigenen Höhe abgebildet. Hierbei richtet sich die Farbgebung nach den Kategorien aus Abschnitt XX. Die Änderung der Höhe wird neben der aktuellen Flugroute auch im Vertikalprofil angezeigt.

3.6.5 Bereich E – Konfliktliste

Für den Fall, dass mehrere Konflikte gleichzeitig vorhanden sind, wurde rechts oben eine Liste hinzugefügt, die eine Übersicht der Konflikte bereitstellt. Darin werden die wesentlichen Informationen eines Konflikts aufgelistet:

- Kennung des Konfliktteilnehmers
- Zeit bis zum Separationsverlust in Sekunden
- Minimale Distanz

Die Einträge werden nach der Kritikalität sortiert, sprich die Zeit bis zum Separationsverlust.

3.6.6 Bereich F – Statusanzeige


In Bereich F wird das ausgewählte Manöver sowie der aktuelle Zustand verschriftlicht. Somit ist erkennbar ob ein Konflikt ausgewählt wurde oder bereits ausgeführt wird.

3.6.7 Bereich G – Aktionsschaltflächen

- REROUTING
Aktiviert ein laterales Ausweichmanöver unter Beibehaltung der aktuellen Flughöhe
- HOLD POS
Setzt die aktuelle Fluggeschwindigkeit auf Null
- LAND
Aktiviert den Landemodus
Manöver hängt vom zugrundeliegenden Autopiloten ab
- EXE
Führt die ausgewählte Resolution aus
- AUTO
Wählt die automatische Resolution aus, die anschließend mit EXE bestätigt werden muss

3.7 Erste Iteration der HMI

In der ersten Version der MMI waren die Bänder für die Geschwindigkeits- und Höhenanzeige in zwei Listen unterteilt (oberhalb und unterhalb des aktuellen Geschwindigkeits- bzw. Höhenwerts). In der Folgeversion wurden diese Listen zu einer Liste zusammengefasst, da somit die keine Synchronisierung erforderlich ist und die Anzeige konsistent ist. Die Tapes können jetzt per Click auf einen entsprechenden Wert, Scrolleingabe und Wischgeste angesteuert werden. Eine weitere signifikante Änderung ist die Anzeige aller einstellbarer

| | | |
|---|--|-------------|
|  | Sachbericht zum Verwendungsnachweis | |
| FKZ: 16SV8629 | SAMMIE | Revision: D |

Geschwindigkeiten und die Freigabe auch konfliktbehaftete Werte einzustellen. Der Pilot kann somit die Logik jederzeit überschreiben und hat alle Optionen zur Steuerung verfügbar.

Bei dem Vertikalprofil wurde auf die Darstellung der Konfliktteilnehmer im negativen Zeitbereich verzichtet. Da sich der Ansatz in ersten Studien als verwirrend erwiesen hat. Gleichzeitig wurden die einzelnen Elemente besser beschriftet und auch der Bereich in dem ein Ausweichen spätestens eingeleitet werden muss wurde in Rot hervorgehoben.

3.8 Aufbau der Testumgebung

Die Simulation der Verkehrsteilnehmer erfolgt über die Air-Traffic-Management (ATM) Simulationssoftware BlueSky. Mit dieser Simulation können mehrere Luftfahrzeuge gleichzeitig simuliert werden. Dabei werden in den Szenarien Simulationsereignisse definiert, die zeitlich- oder Ereignis-basiert aktiviert werden. Darunter fallen unter anderem die Positionierung von neuen Luftfahrzeugen oder Anweisungen zur Änderung der Flugtrajektorie. Die Simulation bietet des Weiteren die Möglichkeit Erweiterungen einzubinden. So wurde im Rahmen von SAMMIE zwei Plugins entwickelt. Eines stellt die Schnittstelle zum UAV-Leitstand bereit. Es greift auf die wesentlichen Positionsdaten zu und erlaubt es Steuerungseingaben durchzuführen. Das Zweite Plugin sammelt die Verkehrsdaten und sichert diese in der Datenbank.

Für eine bessere Portierbarkeit wurden einzelne Module in virtuelle Umgebungen integriert. Dies ermöglichte es unter Linux entwickelte Software unter Windows auszuführen. Zu den Modulen gehören:

- Die Datenbank
- REST API zum Füllen der Datenbank
- Das Konflikterkennungs- und Auflösungsmodul

3.9 Validierung

Die Validierung wurde in mehreren Schritten unternommen. Maßgeblich waren wiederholbare Versuche im Rahmen der geschaffenen Testumgebung mit BlueSky. Somit konnten strukturiert die Eigenschaften den entwickelten Systems evaluiert werden. Sowohl was die Logikkomponenten zur Entscheidungsfindung angeht, als auch die Mensch-Maschine-Schnittstelle z.B. im Rahmen von Probandenversuchen.

Ergänzend dazu wurden Flugversuche durchgeführt, um u.A. die spezifischen Eigenschaften des FLARM-Systems ermitteln und bei den Simulationen berücksichtigen zu können. Für die Flugversuche diente ein Hexacopter als unbemannter Konfliktteilnehmer. Dieser ist ausgestattet mit einem FLARM und Transponder der Firma Garecht Avionik. Die Antennen sind in Flugrichtung ausgerichtet sodass sich Szenarien anbieten bei denen die Luftfahrzeuge aufeinander zu fliegen oder sich kreuzen. Für die Flüge wurde das Flugsystem gewartet und die Firmware musste aktualisiert werden. Die Flugversuche fanden in der offenen Betriebskategorie, also stets unter Sichtkontrolle eines Sicherheitspiloten statt.

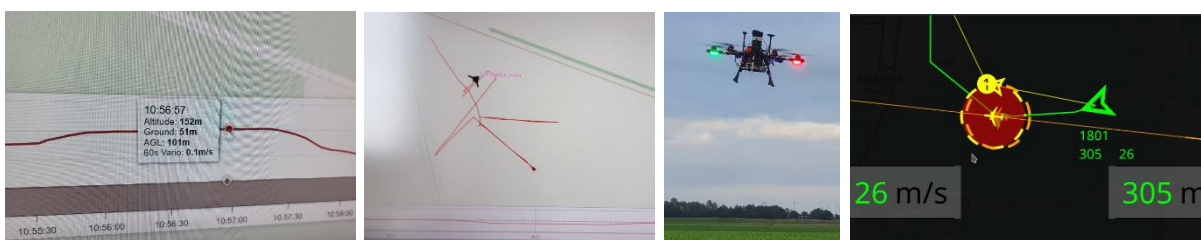



Abbildung 6: Darstellung von Testflügen. v.l.n.r. FLARM Empfangstest, Drohne im Flug, SAMMIE Konfliktauflösung

| | | |
|---|--|-------------|
|  | Sachbericht zum Verwendungsnachweis | |
| FKZ: 16SV8629 | SAMMIE | Revision: D |

3.10 Integration auf Demosystem

Das System wurde zum einen als separate Anwendung auf einem mobilen Handheld integriert, zum anderen hat eine Teilintegration in das Leitstandssystem der Leichtwerk AG stattgefunden. Die Teilintegration ermöglichte einen Datenaustausch zwischen den Applikationen. Eine Gesamtintegration im Prozessablauf hat noch nicht stattgefunden, dies wird nach einer entsprechenden Weiterentwicklung angestrebt. Damit wird das System dann vollumfänglich in das bestehende Leitstandssystem eingebunden und kann somit auch von potentiellen Kunden verwendet werden.




Abbildung 7: Teil-integriertes SAMMIE-System

4 Ergänzungen

4.1 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die nachfolgende Tabelle stellt die im Forschungsvorhaben durch Leichtwerk AG abgerechneten buchhalterischen Positionen dar. Hieraus ist ersichtlich, dass die kostenmäßig größte buchhalterische Position durch Personalkosten gestellt wird. Dies ist insofern begründbar, als die angemessene Bearbeitung der bewilligten Arbeitspakete primär mittels Personaleinsatz sichergestellt werden konnte.

| Position | Beschreibung |
|----------|--------------------------------------|
| 0837 | Personalkosten |
| 0813 | Material |
| 0838 | Reisekosten |
| 0850 | sonstige unmittelbare Vorhabenkosten |

| | | |
|--|-------------------------------------|-------------|
|  Leichtwerk AG | Sachbericht zum Verwendungsnachweis | |
| FKZ: 16SV8629 | SAMMIE | Revision: D |

4.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit

Die Arbeitsanteile der Leichtwerk konnten durch den Einsatz von fachlich qualifiziertem Personal gelöst werden. Das eingesetzte Personal Leichtwerk AG umfasste Ingenieure für das Anforderungsmanagement, die konzeptionelle Entwicklung, die Integration in ein Validierungssystem sowie Fachmitarbeiter zur Instandhaltung und Betrieb der Drohnen. In Anbetracht der gewonnenen Projektergebnisse und des dafür notwendigerweise eingesetzten qualifizierten Personals erscheinen die geleisteten Arbeiten, und damit einhergehenden Kosten als angemessen.

4.3 Voraussichtlicher Nutzen

Das Mensch-Maschine-Interface (HMI) spielt eine zentrale Rolle in der Konfliktauflösung von unbemannten Flugsystemen (UAS) und bietet zahlreiche Vorteile, die sowohl die Effizienz als auch die Sicherheit im Betrieb erhöhen.

Erhöhte Situationsbewusstheit im BVLOS-Betrieb: Das HMI stellt dem Fernpiloten alle relevanten Informationen über den Luftverkehr in der Umgebung dar. Es zeigt alle Flugzeuge im sichtbaren Kartenbereich sowie innerhalb eines definierten Höhenbereichs an. Diese Visualisierung ermöglicht es dem Fernpiloten, ein umfassendes Bild der aktuellen Verkehrssituation zu haben und potenzielle Konflikte frühzeitig zu erkennen.

Schnelle und präzise Entscheidungsfindung: Durch die intuitive und benutzerfreundliche Gestaltung des HMI kann der Fernpilot innerhalb von 5 Sekunden auf Konfliktsituationen reagieren. Das Interface ermöglicht es, Konfliktlösungen innerhalb von Sekunden zu aktivieren und gegebenenfalls anzupassen, was in kritischen Situationen entscheidend sein kann.

Effektive Konfliktlösung: Das HMI stellt dem Piloten detaillierte Informationen zu den Konflikten bereit, einschließlich der beteiligten Flugzeuge, der empfohlenen Lösung und einem Zeitstempel. Dies unterstützt den Piloten dabei, fundierte Entscheidungen zu treffen und die vorgeschlagenen Maßnahmen effektiv umzusetzen.


Aus diesem Grund soll die im Projekt entwickelten Konzepte und Lösungen in einem weiteren Schritt weiter optimiert und vollständig in den Leichtwerk Drohnenleitstand integriert und somit für eine Verwertung vorbereitet werden.

4.4 Bekannter zeitgleicher Fortschritt anderer Stellen

Im Dezember 2022 veröffentlichte die EASA eine technische Spezifikation für elektronische Positionsmeldungen welche hochgradig relevant ist für den Betrieb von UAS. Die darin spezifizierten Dienste (ADS-L) sind wesentlich weniger stringent normiert als vergleichbare Positionsmeldungen via ADS-B nach DO-260B [7]. Den Konsortialpartnern sind noch keine Produkte bekannt, welche ADS-L bereits umsetzen, jedoch ist von einer Verbreitung des ADS-L-Standards mittelfristig auszugehen. Dies hätte zur Folge, dass Verkehrsempfänger, welche Verkehrsanzeigen für Drohnenpiloten speisen, um zusätzliche Hardware und Software ergänzt werden müssen, um ADS-L zu verarbeiten.

4.5 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Das von Leichtwerk AG in SAMMIE entwickelte System wurde auf der AERO2023 sowie der ILA2024 auf dem Messestand der Leichtwerk AG einem breiten Publikum von Fach- und Privatbesuchern präsentiert.

| | | |
|--|-------------------------------------|-------------|
|  Leichtwerk AG | Sachbericht zum Verwendungsnachweis | |
| FKZ: 16SV8629 | SAMMIE | Revision: D |

5 Referenzen

- [1] EASA. Executive Director Decision 2020/022/R of 15 December 2020 issuing the following: Amendment 1 to the Acceptable Means of Compliance and Guidance Material of Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947 and to the Annex (Part-UAS) thereto'AMC and GM to Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947 — Issue 1, Amendment 1' 'AMC and GM to Part-UAS — Issue 1, Amendment1, 2020.
- [2] DIN-Normenausschuss Ergonomie. Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 210: Menschzentrierte Gestaltung interaktiver Systeme. DIN EN ISO 9241-210, DIN, 2020.
- [3] Europäische Kommission. Durchführungsverordnung (EU) 2019/947 der Kommission vom 24. Mai 2019 über die Vorschriften und Verfahren für den Betrieb unbemannter Luftfahrzeuge. Amtsblatt der Europäischen Union, L 152:45–71.
- [4] Jacco M. Hoekstra and Joost Ellerbroek. Bluesky ATC simulator project: An open data and open source approach. In 7th International Conference on Research in Air Transportation: Philadelphia, USA, 2016.
- [5] Mapbox. Mapbox GL JS: Current version v3.1.2. <https://docs.mapbox.com/mapbox-gl-js/guides/,2024>.
- [6] Santel, Dr.-Ing. Christoph. Sachbericht zum Verwendungsnachweis, Teil 2: Eingehende Darstellung, Forschungsprojekt SAMMIE, 2024
- [7] SC-186. Minimum operational performance standards (MOPS) for 1090 MHz extended squitter automatic dependent surveillance – broadcast (ADS-B) and traffic information services – broadcast (TIS-B). DO-178C, RTCA, 2009.