

Standards für UAV - Nachweismöglichkeiten für die Umsetzung des SORA-Prozesses im Bereich niedriger Risikoklassen

Sebastian Cain¹, Christoph Torens², Patrick Juchmann³, Andreas Volkert⁴,
DLR – German Aerospace Center, Braunschweig, 38108, Deutschland

Filippo Tomasello⁵, Matteo Natale⁶,
EuroUSC, Italia Ltd, Rom, 00193, Italien

Joost Vreeken⁷, Tom van Birgelen⁸
NLR – Royal Netherlands Aerospace Centre, Amsterdam, 1059CM, Niederlande

Marta Ribeiro⁹, Joost Ellerbroek¹⁰
Delft University of Technology, 2629 HS Delft, Niederlande

Damiano Taurino¹¹, Marco Ducci¹²
Deep Blue srl, Rom, 00198, Italien

Zusammenfassung

Der Betrieb unbemannter Fluggeräte (UAS) erfolgte lange Zeit außerhalb der geltenden Regulierungen, wie sie aus der bemannten Luftfahrt seit etlichen Jahren bekannt und europäisch harmonisiert sind. Durch die kommerziell getriebene Entwicklung von UAS, die auch immer mehr Einsatzmöglichkeiten eröffnen, ist der Regulierungsprozess auch hier stärker in den Fokus gerückt. Mit den EU Verordnungen 2019/947 und 2019/945 der Europäischen Kommission ist der von den Joint Authorities for Rulemaking of Unmanned Systems (JARUS) entwickelte Prozess für das Specific Operations Risk Assessment (SORA) als risikobasierter Ansatz zur Beurteilung der Sicherheit des UAS als Leitfaden verankert. Aus diesem Prozess werden missionsabhängige Maßnahmen in Form von „Operational Safety Objectives“ abgeleitet, mit denen die Sicherheit systemseitig nachgewiesen wird. Zusätzlich werden Maßnahmen zur Vermeidung von Risiken im Betrieb („Mitigations“) einbezogen. Das Ergebnis des Prozesses sind qualitative Anforderungen an die Mission und das Luftfahrtgerät. Zur Umsetzung der aufgestellten Anforderungen sind, ähnlich dem Vorgehen in der bemannten Luftfahrt, anerkannte Nachweismöglichkeiten, sogenannte „Acceptable Means of Compliance“ (AMC) nötig. Diese Nachweismöglichkeiten bestehen aus unterstützendem Material, meistens Standards, die das Vorgehen und die Zielgrößen für Analysen und Tests definieren. Die AMC werden durch die entsprechenden Behörden, im Falle einer Musterzulassung der europäischen Luftfahrt also durch die europäische Luftfahrtbehörde EASA, anerkannt. Im Rahmen des Forschungsprojektes „AW-Drones“ wird das Ziel verfolgt, bestehende Standards als mögliche AMC für die entstehenden Regulierungsprozesse für UAS zu identifizieren und ihrer Eignung nach einzuschätzen. Der Fokus des Projektes liegt in einem schrittweisen Ansatz, der zunächst darauf ausgelegt ist, geeignete AMC für die Risikoklassen SAIL I-IV des SORA Prozesses zu finden. Dieser Ansatz soll später auf Themenbereiche wie U-Space erweitert werden. Der erste Schritt zur Umsetzung der Untersuchungen beginnt mit dem Aufstellen einer Datenbasis UAS relevanter Standards, die zusätzlich nach Themenkomplexen strukturiert ist, um eine grobe Übersicht herzustellen. Anschließend erfolgt eine Bezugsanforderung zu den Anforderungen der SORA und als letzter Schritt die eigentliche Analyse der Eignung eines Standards als mögliches AMC anhand verschiedener, gewichteter Kriterien. Daraus werden zum einen potentielle AMC, zum anderen Lücken in unterstützenden Standards identifiziert.

In diesem Paper werden das genaue Vorgehen und der aktuelle Stand der beschriebenen Arbeiten dargestellt. Es werden

¹ Research Assistant, Institute of Flight Systems, Department of Unmanned Aircraft, AIAA Member.

² Research Assistant, Institute of Flight Systems, Department of Unmanned Aircraft, AIAA Senior Member.

³ Research Assistant, Institute of Flight Systems, Department of Safety Critical Systems & Systems Engineering.

⁴ Research Assistant, Institute of Flight Guidance, Department of Pilot Assistance.

⁵ Senior Partner.

⁶ Safety and Compliance Engineer.

⁷ R&D Engineer, Vertical Flight & Aeroacoustics department.

⁸ R&D Engineer, Air Transport Safety Institute.

⁹ PhD Candidate, Control & Simulation Department, Faculty of Aerospace Engineering.

¹⁰ Assistant Professor, Control & Simulation Department, Faculty of Aerospace Engineering.

¹¹ Project Manager, Remotely Piloted Aircraft Systems.

¹² Project Manager, Remotely Piloted Aircraft Systems.

die Ergebnisse der Sammlung von möglichen AMC und ihre Bewertung nach den angesprochenen Kriterien aufgezeigt und erste Schlussfolgerungen für die Nachweisführung gemäß dem SORA Prozess gezogen. Zusätzlich wird ein Ausblick in die weiteren Aufgaben und die geplante Dissemination der Ergebnisse in einer öffentlichen Datenbank gegeben.

NOMENKLATUR

UAS	
JARUS	
SORA	
EASA	
EU	
OSO	

1. EINLEITUNG & ZIELSTELLUNG

Unbemannte Luftfahrzeuge (UAS) finden in immer mehr nicht-militärischen Bereichen ihre Anwendung. Die regulatorischen Prozesse zur Zulassung von UAS haben sich dabei begleitend zur technischen Realisierung entwickelt. Mit zunehmendem kommerziellem Nutzen ist der Bedarf nach einem einheitlichen regulatorischen Ansatz immer stärker geworden, um die wirtschaftliche Perspektive der Entwicklungen abzusichern und gleichzeitig die Sicherheit des Betriebes auch bei stärkerer Verbreitung zu gewährleisten. Auf europäischer Ebene wurde mit den EU Verordnungen 2019/947 und 2019/945 der Europäischen Kommission und den Ergänzungen in 2020 der risikobasierte Ansatz zur Bewertung von UAS Missionen offiziell verankert. Dieser Ansatz hierzu wurde von den Joint Authorities for Rulemaking of Unmanned Systems (JARUS), einem internationalen Zusammenschluss von Experten zur Erarbeitung von regulatorischen Entwürfen für unbemannte Luftfahrzeuge erarbeitet. Es wird eine Unterteilung in die „open“, „specific“ und „certified“ Kategorien zugrunde gelegt. Während die open Kategorie die klassischen Verbrauchermarkt-Produkte beinhaltet und durch Produktvorgaben abgedeckt wird, bewegt sich die certified Kategorie im Bereich der mantragenden Luftfahrt und wird im Ansatz durch Weiterentwicklung der Zulassungsbasis in diesem Bereich reguliert. Die specific Kategorie deckt hingegen den großen Bereich zwischen dem Verbrauchermarkt und zertifiziertem Luftfahrzeugen ab. Für diese Kategorie wurde durch die JARUS das Specific Operations Risk Assessment (SORA)-Verfahren entwickelt. Mit dieser Methode wird die Genehmigung durch die ausstellende Behörde mit einer Betrachtung aller Sicherheitsaspekte der geplanten Mission mit einem bestimmten UAS verbunden. Es wird nicht allein die Lufttüchtigkeit des Luftfahrzeuges beurteilt. Die Sicherheit des UAS im Sinne der Lufttüchtigkeit wird durch die „Operational Safety Objectives“ (OSO) adressiert. Daneben erlaubt es die SORA-Methode jedoch auch das Risiko einer Mission durch sogenannte „Mitigations“ zu reduzieren. Die Mitigations stellen operationelle Maßnahmen dar, mit denen das Risiko des Betriebs reduziert wird, beispielsweise operationelle Beschränkungen, ohne dass die Anforderungen an die Lufttüchtigkeit des eigentlichen UAS erhöht werden. Das Ergebnis des SORA-Prozesses ist daher eine Kombination von Anforderungen an das UAS und den operationelle Betrieb.

Um den resultierenden Anforderungen (sowohl in OSOs als auch Mitigationen) zu entsprechen, ist es notwendig,

diese gegenüber der genehmigenden Behörde nachzuweisen. Hierfür werden, wie auch in der klassischen Luftfahrt, anerkannte Nachweismöglichkeiten (*“Acceptable Means of Compliance”*, AMC) für diese Anforderungen benötigt. Diese Nachweismöglichkeiten geben einem Antragssteller die nötige Anleitung um, basierend auf erprobten Industriestandards, der Behörde gegenüber das Entsprechen nicht nur des SORA-Prozesses, sondern insbesondere auch den resultierenden OSOs und Mitigationen nachzuweisen und letztlich die Genehmigung in der specific Kategorie zu erlangen.

Die Vereinbarung der Nutzung von AMC muss üblicherweise mit der Behörde abgestimmt werden, was sowohl für die Behörde als auch für den Antragssteller einen aufwendigen Prozess darstellt. Daher obliegt es der EASA als EU Legislative für einen regulatorischen Prozess bereits anerkannte AMC zu veröffentlichen oder eigene AMC zu erstellen. Für den jüngsten Prozess der Regulierung von UAS Betrieb ist die Erarbeitung der AMC längst nicht abgeschlossen. Hier kommt erschwerend hinzu, dass gerade im Bereich der operationellen Anforderungen durch die besonderen Charakteristika von UAS, etliche Anforderungen kein Pendant in der klassischen Luftfahrt besitzen. Gleichzeitig herrscht breiter Konsens darüber, dass ein reines Übertragen der bestehenden Nachweismöglichkeiten für viele Anwendungen zu aufwendig wäre und das Potential von UAS und ihrer Entwicklung zu nichtemachen würde.

Das Ziel des Europäischen Forschungsprojektes „AW-Drones“ ist es daher die bestehenden verbreiteten, aber auch aktuell in Entwicklung befindlichen Standards, die sowohl die Lufttüchtigkeit als auch andere relevante Themen der Luftfahrt betreffen zu identifizieren und ihr Potential als mögliche AMC für die regulatorischen Anforderungen zu untersuchen. Hierfür ist ein breites internationales Konsortium zusammengestellt worden, dass sowohl Industriepartner als auch Forschungseinrichtungen, Gremien und Stakeholder umfasst. Zusätzlich sind neben der EASA andere Expertengruppen und Standards entwickelnde Organisationen (*Standard Development Organizations*, SDOs) eingebunden. Hierdurch soll sichergestellt werden, dass alle Aspekte dieser Thematik erfasst werden können.

Der Kern des Projektes besteht darin in einem dreistufigen Ansatz potentielle AMC für den verankerten SORA Prozess zu erarbeiten. Der Fokus wird auf Grund der Verfügbarkeit von potentiellen Standards und dem Umfang der Arbeiten zunächst auf den niedrigeren Risikoklassen der specific Kategorie gelegt. Dies bedeutet, dass die Risikoklassen SAIL I – IV betrachtet werden. Der entwickelte Ansatz und die zugrunde liegende Datenbasis sollen im späteren Verlauf auch auf höhere Risikoklassen und/oder andere regulatorische Prozesse (z.B. U-Space und vollständig automatisierte Missionen) angewandt werden. Auch die Anwendung auf neue Aspekte im Bereich der certified Kategorie ist denkbar.

Der erste Schritt des Ansatzes sieht vor, eine Datenbasis für Standards zu erarbeiten, die als Grundlage der Analy-

se dient und durch thematische Strukturierung auf die Prozessanforderungen übertragbar ist. In einem zweiten Schritt findet dann diese Übertragung durch ein grobes „Mapping“ statt, in dem die identifizierten Standards den identifizierten Anforderungen zugeordnet werden. Im letzten Schritt erfolgt dann die eigentliche Analyse dieser „vorsortierten“ Standards und ihre Evaluierung als potentielles AMC durch die Beurteilung anhand verschiedener, gewichteter Kriterien. Das Ergebnis des Prozesses ist dann ein evaluiertes Set von möglichen AMC, das der Behörde als Grundlage ihrer Auswahl dienen kann. Dieses Set, mit dem Spitznamen „EU Metastandard“ soll jedoch auch einem Antragssteller und jedem Stakeholder die Möglichkeit geben, eine Übersicht über mögliche AMC zu erlangen. Weiterhin wird im Projekt eine Analyse zu vorhandenen Lücken durchgeführt. Das bedeutet, dass dort wo kein hinreichendes Material zur Unterstützung der Nachweise vorhanden ist, die Schwere dieser Lücke beurteilt wird, um Handlungsempfehlungen abzuleiten.

In den folgenden Abschnitten wird zunächst kurz das Projekt dargestellt, um danach im Detail auf die einzelnen Schritte einzugehen. Es wird mit den bisherigen Ergebnissen der Analyse und einem Ausblick auf die laufenden Arbeiten geschlossen.

2. DAS PROJEKT AW-DRONES

Das Projekt AW-Drones ist ein 36-Monate (2019-2021) laufendes Projekt, das durch das größte europäische Forschungsprogramm Horizon 2020 kofinanziert wird.

Das Projekt soll den aktuellen regulatorischen Prozess zur Definition von Standards und Verfahren für Drohnen im zivilen Bereich und die Industrie bei der Entwicklung von sicheren, umweltfreundlichen und gesellschaftlich akzeptierten Innovationen unterstützen. Hierfür wird das Projekt in vier wesentliche Aktivitäten strukturiert:

- Sammlung von Daten und Material über abgeschlossene, laufende und geplante Arbeiten an technischen Dokumenten, Verfahren und Standards für den breitbandigen Einsatz von Drohnen weltweit
- Durchführung einer Evaluierung bzw. Bewertung dieses Materials um Lücken, Engstellen aber auch anerkanntes Vorgehen zu identifizieren
- Ableitung eines gut-begründeten Sets von Standards als mögliche AMC für zivile Drohnen
- Bewertung und Iteration der Ergebnisse mit Expertengruppen, Stakeholdern etc.

Die Europäische Kommission (EC) und EASA haben in Übereinstimmung mit dem Konsortium für das zeitliche Vorgehen mehrere Stufen festgelegt:

1. Jahr: Analyse von Standards die Nachweise von Anforderungen des SORA-Prozesses unterstützen
2. Jahr: Analyse von Standards die Nachweise von Anforderungen aus dem U-Space Prozess unterstützen
3. Jahr: Fokus auf Standards, die hochgradig automatisierte Drohneneinsätze ermöglichen

Die aktuell vorgestellten Arbeiten sind die Ergebnisse der ersten Stufe dieses Projektes.

3. METHODIK

Die Risiken, die aus dem Betrieb von Drohnen in der spezifischen Kategorie resultieren müssen analysiert werden, um die operationelle Genehmigung zu erhalten. Eine solche Genehmigung ist die Voraussetzung für die eigentliche Durchführung einer Mission. Eine anerkannte Nachweissführung für den Beleg, dass das resultierende Risiko im akzeptablen Bereich ist, ist der SORA Prozess. Dieser startet mit der Detaillierung der angestrebten Mission um das sich ergebende Boden- und Luftrisiko zu erhalten. Zusätzlich können Mitigationen Anwendung finden, durch die diese Risiken reduziert werden. Das resultierende Risiko wird durch 6 spezifische Risikoklassen (SAIL) bemessen. Basierend auf dem ermittelten SAIL müssen OSOs angewandt werden, um die Reduktion des erlaubten Betriebsrisikos auf ein anerkanntes Level zu gewährleisten. An verschiedenen Stellen der Prozessbeschreibung werden generisch anerkannte Standards referenziert, ohne dass diese zum jetzigen Zeitpunkt definiert sind. Um vorhandene Standards zu systematisieren und dem Prozess zuzuordnen werden zwei unterschiedliche Methodiken angewandt.

Bei der ersten entwickelten Methode werden die Standards und ähnliches Material (Guidance, Best Practices und Information) der Datenbasis strukturiert. In seinem ersten Entwurf wurde die Struktur anhand eines high-level Risikomodells aufgebaut, das durch Unfallanalysen begründet war. Hieraus wurden Drohnenklassen und Operationsklassen abgeleitet, die mit funktionalen Fehlern und Bedienfehlern kombiniert werden. Dieser Ansatz zeigte sich durch den Fokus des Projektes auf den SORA-Prozess als zu komplex und gleichzeitig in seiner Struktur überlappend mit den Annahmen im SORA-Prozess. Der Ansatz zur Strukturierung der Daten wurde daher iteriert und in einen praxisnahen Ansatz umgewandelt. Die Daten wurden zur weiteren Analyse auf zwei Arten strukturiert – einerseits durch eine thematische Clusterung, andererseits durch ein Beziehen auf identifizierte Anforderungen aus dem SORA-Prozess. Diese Anforderungen sind:

- 4 Operational Safety Objectives
- 3 Mitigationen für das Bodenrisiko
- 11 Strategische und Taktische Mitigationen für das Luftrisiko
- 1 Anforderung bzgl. Eindämmung gem. Schritt 9 der SORA

Die Anforderungen werden genutzt um die Datenbasis in einen ersten Bezug zum regulatorischen Prozess zu setzen. Dies wird als Mapping bezeichnet. Die Anforderungen in sind XX nochmals einzeln wiedergegeben. Standards die Inhalte bieten welche außerhalb des SORA-Prozesses liegen und dennoch für die Behörde interessant sein könnten werden durch diese Struktur natürlich verpasst. Genau hierfür kommt die weiter gefasste thematische Clusterung hinzu. Ein Vorteil ist, dass frühzeitig Lücken und Engstellen für Nachweismöglichkeiten sichtbar werden.

Das Beziehen der Standards auf den SORA-Prozess findet auf einem sehr groben Level statt, anders ausge-

drückt handelt es sich um eine Vorfilterung für den nachfolgenden Schritt. Dieser, als Assessment bezeichnete Schritte, bewertet die zugeordneten Standards in einem höheren Detailgrad. Hierfür kommt ein Multi-Kriterien Verfahren zur Anwendung, das wie folgt durchgeführt wird:

The subsequent assessment methodology is based on Multi-Criteria Analysis which works as follows:

- A criterion represents the effect of a potential standard or lack of a standard on a certain aspect. Criteria are: maturity of standard, type of standard, effectiveness to fulfil KPA requirement, cost of compliance, environmental impact, impact on EU Industry competitiveness, social Acceptance;
- For each criterion a ranking system is defined which allows to express the magnitude of the effect of an option on the applicable aspect;
- Rankings for the various criteria can have different units of measurements. To allow the combination of criteria, non-dimensional numerical scores are defined for each ranking system;
- The various criteria are combined by algebraically summing the scores of each criterion using a weight factor for each criterion. The weight factor expresses the importance of a criterion relative to the other criteria.

For a standard that is mapped to a certain requirement, the resulting weighted score indicates its usability. From this scoring, the following conclusions can be drawn:

- A standard that corresponds with a requirement and has a high score (see Figure 1) will be proposed as AMC. In case of partial coverage the gaps will be indicated.
- A standard that correspond with a requirement that has a medium score (see Figure 1) will be listed as possible AMC subject to decision by Authority. In case of partial coverage the gaps will be indicated.
- For a standard that corresponds with a requirement and has a low score (see Figure 1), possible applicable standards from manned aviation and other industries will be proposed, or a recommendation to amend the standard will be provided. In case of partial coverage the gaps will be indicated.

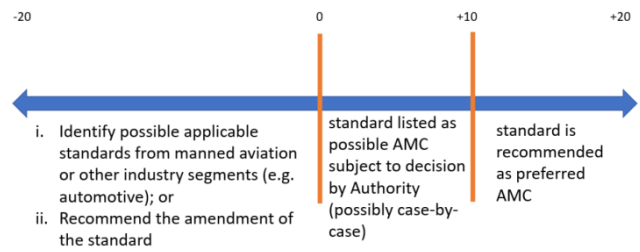


Figure 1: Structure of the additional information for the standards database

4. SCHLUSSFOLGERUNG ZU STANDARDS & IDENTIFIZIERTEN LÜCKEN

Die folgenden Lücken und Schlussfolgerungen basieren auf den bestehenden veröffentlichten Standards vom Februar 2019. Es gibt möglicherweise über diesen Stand hinausgehende Standards, die sich derzeit in der Entwicklungs- oder Planungsphase befinden und geeignet sind einige der festgestellten Lücken abdecken. Der Reifegrad der Standards wird von dem Projektteam kontinuierlich überwacht. Alle aktuelleren Arbeitsergebnisse sollten daher Vorrang vor den hier vorgestellten Schlussfolgerungen haben.

Für alle SORA-Anforderungen, die bis zur SAIL IV anwendbar sind, gibt es eine zumindest teilweise Abdeckung durch bestehende Standards. Aber nur ein kleiner Prozentsatz an SORA-Anforderungen wird vollständig erfüllt. Die Abdeckung für alle SORA-Anforderungen ist in den Tabellen 1-5 dargestellt. Die Tabellen zeigen den Grad der Abdeckung für jede SORA-Anforderung wie folgt:

- Die durch die SORA eingeführten Level der Robustheit sind: **Low**, **Medium** und **High**.
- Eine grau hinterlegte Zelle bedeutet, dass der Standard für das entsprechende Level der Robustheit nicht notwendig ist.
- Eine gelbe Schattierung weist auf eine teilweise Abdeckung der Robustheit hin.
- Eine grüne Schattierung zeigt an, dass die Robustheit vollständig abgedeckt ist.
- Falls keine höheren Level an Robustheit für UAS Operationen bis SAIL IV notwendig sind, werden diese nicht in der Tabelle referenziert (dies trifft auf die **High Level** Robustheit für mehrere der SORA Anforderungen).

Tabelle 1 Strategische Mitigation für das Bodenrisiko: Überblick der Abdeckung

Anforderung	Abdeckung der Robustheit		
M1 – non tethered	L	M	H
M1 – tethered	L	M	H
M2	L	M	H

M3	L	M	H
----	---	---	---

Tabelle 2 Performanz Anforderungen für Taktische Mitigation (VLOS): Überblick der Abdeckung

Anforderung	Abdeckung der Robustheit
Tactical Mitigations VLOS	

Tabelle 3 Performanz Anforderungen für Taktische Mitigation (BVLOS): Überblick der Abdeckung

Funktion	Abdeckung der Robustheit			
	Arc-a	Arc-b	Arc-c	Arc-d
Detect				
Decide				
Command				
Execute				
Feedback Loop				
Integrity				

Tabelle 4 OSOs: Überblick der Abdeckung

Anforderung	Abdeckung der Robustheit		
OSO #01	L	M	H
OSO #02	L	M	-
OSO #03	L	M	-
OSO #04	L	-	-
OSO #05	L	M	-
OSO #06	L	M	-
OSO #07	L	M	-
OSO #08, #11, #14, #21	L	M	H
OSO #09, #15, #22	L	M	-
OSO #10, #12	L	M	-

OSO #13	L	M	H
OSO #16	L	M	-
OSO #17	L	M	-
OSO #18	L	M	-
OSO #19	L	M	-
OSO #20	L	M	-
OSO #23	L	M	-
OSO #24	L	M	H

Tabelle 5 Benachbarter Luftraum: Überblick der Abdeckung

Anforderung	Abdeckung der Robustheit	
Benachbarter Luftraum	1	2

Die Tabellen 6-9 geben einen Überblick über die Lücken die fehlen um eine entsprechende SORA Anforderung voll abzudecken. Nach jeder Tabelle wird der Einfluss dieser Lücken diskutiert, inklusive einer Empfehlung für Standardisierungsorganisationen und Behörden. Um die Natur der Lücken dabei besser hervorzuheben, wurden sie in 4 Kategorien eingeteilt:

- **Guidelines:** Richtlinien, die den UAS Betreiber unterstützen, die Einhaltung der Vorschriften gegenüber Behörden nachzuweisen.
- **Procedures:** spezifische Instruktionen und Protokolle für den Betrieb von UAS.
- **Technical:** Standards mit Bezug auf das Design des UAS, seiner Komponenten und/oder extern Schnittstellen.
- **Training:** Standards die beschreiben wie Schulungen durchgeführt werden und die das Schulungsmaterial beschreiben für das Personal, das für den UAS Betrieb zuständig ist.

Basierend auf dem Bewertungssystem aus Kapitel 5 für den Schweregrad der Lücken wird folgende Farbeinteilung zur Unterscheidung verwendet:

- Eine orangefarbene Schattierung weist auf einen mittleren Schweregrad der Lücke hin (mit einem Score <=-5).
- Eine rote Schattierung weist auf eine sehr schwerwiegende Lücke hin (mit einem Score <=-10).

Es ist zu empfehlen, dass Lücken mit einem mittleren und sehr hohen Schweregrad zuerst angegangen werden, da diese höhere Sicherheitsrisiken und Kosten darstellen.

Tabelle 6 Strategische Mitigation für das Bodenrisiko: Überblick der Lücken

Anf.	Typ	Thema
M1	G	Gemeinsamer Ansatz für die Definition des Puffers für das Bodenrisikos
		Bewertung von Risikopersonen
		Anforderungen für Echtzeit Bevölkerungsdaten
	P	Installation und Wartung der Anbindungsvorrichtung
	Te	Mechanische Eigenschaften der Anbindungsvorrichtung
M2	G	Systemaktivierung für Standard Automatisierungstechnik
		Reduzierung der Auswirkungen der Aufpralldynamik und der Gefahren nach dem Aufprall
	P	Prozeduren für unvorhergesehene Ereignisse und Notfälle
		Prozeduren für Installation und Wartung
Tr	Maßnahmen zur Reduzierung des Bodeneinschlags	
M3	G	Notfallreaktionsplan für den UAS Betrieb
		Reduzierung der Anzahl der Risikopersonen
	Tr	Bewältigung von UAS Notfällen

Die schwerwiegendsten Lücken bei den strategischen Mitigationen für das Bodenrisiko sind im Folgenden dargestellt:

- Das Fehlen spezifischer Anforderungen, wie das Risiko der Operationen richtig einzuschätzen ist, kann dazu führen, dass wichtige Faktoren übersehen werden.
- Das Fehlen spezifischer Richtlinien für die Definition des Risikopuffers am Boden kann sich negativ auf die Sicherheit auswirken, da möglicherweise nicht in allen Betriebsszenarien angemessene Margen beibehalten werden.
- Das Fehlen von Standards für die Anbindungsvorrichtung macht es schwierig, deren Angemessenheit für den Betrieb zu beurteilen.

Bezugnehmend auf die vorher genannten Lücken wird

folgendes empfohlen:

- Richtlinien, die definieren, wie die Anzahl der für die Betreiber gefährdeten Personen zu bewerten ist, sollten ad hoc für betriebliche, technische und administrative Themen entwickelt werden.
- Ausnahme- und Notfallbedingungen müssen standardisiert werden, damit technische Fragen auf die „beste“ Art und Weise behandelt werden können.
- Richtlinien für Checklisten werden den derzeitigen Zeitaufwand der Behörden für die Überwachung der Betreiber reduzieren.
- Es sollte ein spezielles Schulungsprogramm entwickelt werden, das auf die Fähigkeiten ausgerichtet ist, die für den sicheren Umgang mit Notfallsituationen erforderlich sind.

Tabelle 7 Performanz Anforderungen für Taktische Mitigation: Überblick der Lücken

Anf.	Typ	Thema
VLOS	G	Richtlinien für das Erstellen für ein dokumentiertes Schema zur Konfliktvermeidung
		Prozeduren und Protokolle zur Unterstützung der Konfliktvermeidung
BVLOS	Te	Detection and Avoid (DAA), speziell für kleine UAS
		Kleine UAS oberhalb von geringen Höhen / very low level (VLL)

Die Lücken bezüglich der Standards zum Thema taktische Mitigation für VLOS und BVLOS, (Tabelle 7) haben die folgenden Auswirkungen:

- Das Fehlen einer standardisierten Methode zur Entwicklung eines Schemas zur Konfliktvermeidung könnte die einheitliche Sicherheit für den Betrieb für alle UAS gefährden.
- Es sind zuverlässige DAA Methoden notwendig, um Kollisionen zwischen unbemanntem und bemanntem Verkehr zu vermeiden. Obwohl kleine Drohnen eine begrenzte Größe und Masse haben, deuten mehrere Studien darauf hin, dass diese Kollisionen immer noch zu ernsthaften Schäden mit bemannten Luftfahrzeugen führen können[1]–[3].
- Das Fehlen anerkannter DAA Methoden macht es unmöglich, Operationen im Zusammenhang mit der Luftrisikoklasse (Arc)-d und BVLOS durchzuführen [4]. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, den Luftraum zu trennen (was für die Betreiber mit Kosten und Zeitaufwand verbunden ist).

Es wird daher folgendes empfohlen:

- Entwicklung von speziellen Richtlinien, die den Betreibern hilft, ein Schema für die VLOS/E-VLOS Konfliktvermeidung zu erstellen. Dieses sollte Methoden und Kriterien für entgegenkommenden Verkehr angemessen definieren, zusammen mit den Prozeduren zur Unterstützung eines solchen Schemas.
- Fokussierung auf die Entwicklung von DAA, die eine sichere Integration des Betriebs von UAS in den zivilen Luftraum ermöglichen.

Tabelle 8 OSOs: Überblick der Lücken

Anf.	Typ	Thema
OSO #1	G	Mindestanforderung in Bezug auf Struktur, und Typen des Betriebs
OSO #4	G	Gegenwärtige Standards sind zu anspruchsvoll und nicht anwendbar für den Betrieb mit geringer Robustheit und Operationen mit SAIL IV
OSO #6	Te	Funktionen zur Kommunikation, falls benötigt und relevant
OSO #08,#11,#14,#21	G	Interaktionen der Crew mit anderen an der UAS Operation beteiligten Stellen
	P	Prozeduren für den Betrieb jedes erforderlichen Elements; Einige erfordern spezifische Standards für jeden Typ von aus
		Ausnahme- und Notfall-Prozeduren
		Checklisten zum Betrieb für Mitarbeiter
	Tr	Prozeduren zum Umgang mit menschlichen Fehlern
OSO #09,#15,#22	Tr	Personal, dass kein remote pilot ist, aber für wichtige Flugrelevante Aufgaben verantwortlich ist
		Nicht regulierte Berufe (z. B. Hilfspersonal, Nutzlastbetreiber, Flug-Dispatcher)
OSO #13	G	Definition von angemessener GNSS Performance für den UAS Betrieb
	P	Standardisierte Verfahren zur

		Überwachung externer Dienste
		Test und Überprüfung der GNSS Performance
OSO #16	G	Zuweisung von Aufgaben und schrittweiser Aufbau der Kommunikation
	Te	Kommunikationsgeräte für die UAS Crew
OSO #17	G	Kriterien für die Anforderungen zur Einsatzfähigkeit vor oder während Dienstzeiten
		Management System für das Ermüdungsrisiko
OSO #18	Te	Automatische Einhaltung der Flug-Envelope nach Fehlern des Remote Piloten, insbesondere für kleine UAS
OSO #19	G	Prozeduren und Checklisten für Fehlerbehandlung, inklusive einer klaren Zuordnung von Aufgaben für die beteiligte Remote-Crew
	Te	Entwicklung des UAS inklusive von Methoden zur Wiederherstellung der sicheren Operation nach menschlichem Versagen
	Tr	Visuelle Beobachter zur Einhaltung der Sicherheit
OSO #20	G	Bewertung der menschlichen Faktoren von UAS, um festzustellen, ob das Human Machine Interface (HMI) für den Betrieb geeignet ist
	Te	Plattformunabhängige HMI Funktionalitäten
OSO #23	G	Ermittlung angemessener Umgebungsbedingungen für einen sicheren Betrieb
		Gegenwärtige Verfahren sind recht allgemein gehalten und bieten keine ausreichenden Richtlinien

Die Lücken bei der Konformität der OSOs (Tabelle 8) haben folgende Auswirkungen:

- Das Fehlen von Standardverfahren wirkt sich negativ auf die Kosten aus, da jeder Betreiber / Hersteller seine eigenen Verfahren zur Konformität entwickeln muss.
- Das Fehlen harmonisierter Schulungsanforderungen erhöht den Aufwand von Betreibern und

Behörden zur Überprüfung der Personalkompetenzen.

- Die Wahrscheinlichkeit und die Auswirkungen menschlicher Fehler bei Fehlen von Standardverfahren und angemessenes Training sind ein Anlass für Sorge.
- Das Fehlen von Standards für Sicherheitsgrenzwerte und Ausnahme-, sowie Notfallverfahren kann die Offenheit des Marktes für den UAS Betrieb schwächen.
- Eine angemessene HMI ist für die Sicherheit des UAS-Betriebs von entscheidender Bedeutung [5]. Ohne Standards für Design und Entwicklung für solche Interfaces ist es schwer zu bewerten, inwieweit das verfügbare HMI die Sicherheit von UAS Operationen in Bezug auf Informationsdarstellung, menschliches Versagen und Müdigkeit zu unterstützen vermag.
- Das Fehlen genau definierter sicherer Betriebsbedingungen für UAS kann sich nachteilig auf die Umwelt auswirken. In extremen Fällen könnte ein Unfall schwerwiegende Umweltverschmutzung verursachen.

Es wird den Standardisierungsorganisationen und Behörden empfohlen Standards zu entwickeln, die die zuvor analysierten Lücken direkt abdecken. Es sollte berücksichtigt werden, dass:

- Es sollten gemeinsame Ansätze entwickelt werden. Diese erhöhen die Sicherheit des UAS-Betriebs, verhindern Missverständnisse und das Übersehen wichtiger Faktoren.
- Menschliche Faktoren und Schulungen wurden als Schlüsselemente für den Markt für unbemannte Luftfahrzeuge identifiziert [6] - [10] und sollten daher priorisiert werden. Darüber hinaus sollte bei der Ausbildung entfernter Besatzung die Einbeziehung physischer und psychischer Bedingungen berücksichtigt werden, da diese das Ergebnis des UAS Betriebs erheblich beeinflussen können.
- Derzeit hat eine beträchtliche Anzahl von Standards einen begrenzten Geltungsbereich (z. B. MTOM unter 25 kg, nur Drehflügler). Ein größerer Spielraum für neu geschaffene Standards wäre vorteilhaft, um die Anzahl der Standards zu verringern, die von Betreibern berücksichtigt werden müssen.
- Für die bemannte Luftfahrt entwickelte Standards können für den UAS-Sektor zu anspruchsvoll sein und sind in der Praxis kaum anwendbar, insbesondere für kleine UAS. Die Ähnlichkeit mit bemannten Luftfahrtverfahren kann von Vorteil sein, um sicherzustellen, dass alle Sicherheitsaspekte berücksichtigt werden. Diese sollten jedoch ordnungsgemäß skaliert werden, wenn sie auf den UAS Betrieb mit geringerem Risiko ausgerichtet sind.

Tabelle 9 Benachbarter Luftraum: Gap Overview

Anf.	Typ	Thema
Benachbarter Luftraum	G	Verhinderung von Aktionen außerhalb des erlaubten Geländes zum Betrieb nach einem Defekt des UAS oder eines externen Systems
		Nachweise für die Entwicklung von Software (SW) / Airborne Electronic Hardware (AEH) für kleine UAS

In Bezug auf den angrenzenden Luftraum (Tabelle 9) sind weitere Richtlinien erforderlich, um nachzuweisen, dass die Verfahren sowie Fehler von SW und / oder AEH nicht zu einer Verletzung der angrenzenden Bereiche am Boden und / oder des angrenzenden Luftraums führen.

5. EXPERTENGRUPPEN & WISSENSVERTEILUNG

Während aller Entwicklungsphasen von AW-Drones werden Experten und Stakeholder einbezogen und regelmäßig informiert, um zu überprüfen, ob die Projektergebnisse den Erwartungen der UAS Gemeinschaft und Industrie entsprechen.

Insbesondere fördert das Projektkonsortium eine enge Zusammenarbeit mit der EASA und den Standardisierungsorganisationen durch regelmäßige Synchronisierungstreffen und gemeinsame Workshops.

Die Einbeziehung eines breiteren Publikums von Interessenten und Interessensverbänden (Herstellern, Betreibern, Forschern usw.) wird durch die Bildung eines externen Expertenbeirats erreicht, der alle zwei Jahre zusammentritt, sowie darüber hinaus durch die Organisation großer offener jährlicher Workshops.

Das offene Repository von AW-Drones ist eine Online-Plattform, auf der Benutzer leicht relevante Informationen aus der AW-Drones-Datenbank mit Standards und Vorschriften finden können.

Das offene Repository schafft dadurch einen zentralen Zugangspunkt zu relevanten Informationen über zu den folgenden Themen:

- Regeln, Verfahren und technische Standards für zivile Drohnen;
- bewährte Methoden, Lücken und Engpässe;
- Technischer Standards für jede Kategorie von UAS Operationen.

Das Repository enthält insbesondere die vollständigen Informationen, die durch die in den Abschnitten 4, 5 und 6 beschriebenen Projektaktivitäten erstellt wurden. Die Architektur und das gesamte Web-Repository-Design sind von den Prinzipien des Benutzerzentrierten Designs inspiriert, mit dem Ziel, eine gute Benutzererfahrung zu ermöglichen.

Neben einer offenen Plattform, die als Informationsaustausch (Zugriff, Extraktion, Auswertung, Reproduktion, Verbreitung von Daten) verwendet werden kann, enthält das AW-Drones-Repository auch Funktionen für die Zu-

sammenarbeit (Kommentieren, Bewerten, Überprüfen, Hinzufügen und Bearbeiten von Inhalten). Diese Funktionen werden Interessenten auch nach dem Ende des AW-Drones-Projekts weiter unterstützen können. Das offene Repository des AW-Drones Projektes wurde im Juni 2020 veröffentlicht und ist auf der Projekt Webseite verlinkt: <https://www.aw-drones.eu/>

[15] N. Fezans, „Modelling and Simulation for Aerial Refueling Automation Research for Manned and Unmanned Aircraft,“ in *Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2016*, Braunschweig, 2016.

6. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] M. Sippel, „Wiederverwendbare Boosterstufen für Ariane 5,“ *Raumfahrt Concret*, pp. 11-16, Januar 2009.
- [2] SpaceX, [Online]. Available: <http://www.spacex.com>. [Zugriff am 25 Juli 2017].
- [3] L. Bussler und M. Sippel, „Comparison of Return Options for Reusable First Stages,“ in *21st AIAA International Space Planes and Hypersonics Technologies Conference*, Xiamen, China, 2017.
- [4] M. Sippel, C. Manfletti und H. Burkhardt, „Long-Term/Strategic Scenario for Reusable Booster Stages,“ in *54. Internationaler Raumfahrtkongress IAC*, Bremen, 2003.
- [5] M. Sippel und J. Klevanski, „Progresses in Simulating the Advanced In-Air-Capturing Method,“ in *5th International Conference on Launcher Technology*, Köln, 2003.
- [6] S. I. Purdy, „Probe and Drogue Aerial Refueling Systems,“ in *Encyclopedia of Aerospace Engineering*, John Wiley & Sons, Ltd, 2010.
- [7] P. R. Thomas, U. Bhandari, S. Bullock, T. S. Richardson und J. L. d. Bois, „Advances in air to air refuelling,“ Elsevier, 2014.
- [8] T. Kuk, K. Ro und J. Kamman, „Design, Test and Evaluation of an Actively Stabilized Drogue,“ in *American Institute of Aeronautics and Astronautics 2011-1423*, St. Louis, Missouri, 2011.
- [9] W. Williamson, E. Reed, G. Glenn, S. Stecko, J. Musgrave und J. Takac, „Controllable Drogue for Automated Aerial Refueling,“ *Journal of Aircraft*, pp. Vol. 47, No. 2, März 2010.
- [10] D. Sims-Williams und R. Dominy, „Improved Air to Air Refuelling,“ in *Trans National Access Opportunity Workshop*, Bardonecchia, 2011.
- [11] H. Münzner und H. Reichardt, „Rotationssymmetrische Quellsenkenkörper mit überwiegend konstanter Druckverteilung, 1944.“
- [12] R. Steffen, „Supercavitation,“ 01 November 2015. [Online]. Available: <http://www.supercavitation.net>. [Zugriff am 26 Juli 2017].
- [13] P. Eldon, „Drogue for airspeed-calibration trailing static source“. USA Patent US3310257, 1 Oktober 1965.
- [14] PixHawk, [Online]. Available: <https://pixhawk.org/modules/pixhawk>. [Zugriff am 25 Juli 2017].