



**DFS** Deutsche Flugsicherung

# **Luftfahrtforschungsprogramm 2020-2024**

## **KIEZ 4.0**

### **Künstliche Intelligenz Europäisch Zertifizieren unter Industrie 4.0**

## **Schlussbericht der DFS**

DFS Deutsche Flugsicherung GmbH

Entwicklung eines Zertifizierungsprozesses für  
sicherheitskritische KI-Anwendungen im  
Flugsicherungsumfeld"

Förderkennzeichen: 20D1914E

Laufzeit: 01.07.2020-31.12.2023

## Impressum

Autor: Michael Lüttel  
Antonella Cavallo

Dateiname: Schlussbericht KIEZ4\_0

gedruckt: 04.07.2024

zuletzt geändert/gespeichert: 04.07.2024

Anzahl Seiten: 31

Gefördert durch:

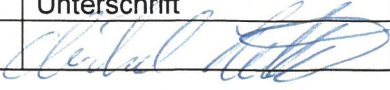


Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

DFS Deutsche Flugsicherung GmbH  
Am DFS-Campus 10  
63225 Langen  
Tel.: (06103) 707-0

**Unterschrift des Projektleiters**

Projektleiter	Datum	Unterschrift
Michael Lüttel	04.07.2024	

**Inhalt**

<b>1</b>	<b>Rolle der DFS im Verbundprojekt „KIEZ 4.0“</b>	<b>5</b>
1.1	Aufgabenstellung und Ziele	5
1.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	6
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	7
1.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	9
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	9
<b>2</b>	<b>Eingehende Darstellung der Ergebnisse</b>	<b>11</b>
2.1	Die Verwendung der Zuwendung und der erzielten Ergebnisse im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	11
2.2	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	20
2.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	20
2.4	Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	20
2.5	Während der Durchführung bekannt gewordener Fortschritt Dritter	21
2.6	Erfolgte oder geplante Veröffentlichung des Ergebnisses	22
2.6.1	Erfolgte Veröffentlichungen	22
2.6.2	Geplante Veröffentlichungen	23
<b>3</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>25</b>
<b>5</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>26</b>
<b>6</b>	<b>Angabe der verwendeten Literatur</b>	<b>27</b>

# **1 Rolle der DFS im Verbundprojekt „KIEZ 4.0“**

## **1.1 Aufgabenstellung und Ziele**

Das Ziel des Vorhabens war die Ermittlung und Untersuchung einer Zertifizierungsmethodik für KI im Sinne der Zulassung für die operative Anwendung im Bereich der Luftfahrt. Basierend auf den heute geltenden Zertifizierungsstandards sollten die zu erwartenden Ergebnisse aufzeigen, welche Anpassungen geeignet sind, oder ob ein völlig neuer Ansatz für die Zertifizierung aufgesetzt werden muss.

Mit dem Konstrukt eines Luftfahrtforschungsvorhabens wurde die Voraussetzung für die Zusammenarbeit mit Industrie und Großforschungspartnern geschaffen, um die Vorteile von KI basierten Anwendungen in einem zertifizierten Umfeld, wie der Luftfahrt, zu realisieren und operativ zu nutzen.

Die DFS Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS) hat ein besonderes Interesse, KI-Anwendungen für Air Traffic Managementsysteme (ATM) zertifizieren zu lassen. Als Nutzer und Hersteller von ATM-Systemen ist es besonders wichtig, die Zulassungsanforderungen bereits in frühen Entwicklungsphasen zu kennen, um Verfahren zur Verifikation und Validierung sowie Sicherheitsbetrachtungen zeitgerecht planen zu können. Die Entwicklung von KI-Anwendungen bieten eine Möglichkeit der schnellen, professionellen, interdisziplinären Umsetzung für ATM-Systeme.

Es wurde untersucht, welche bereits für konventionell programmierte Anwendungen genutzten Methoden und Verfahren zur Freigabe und Zertifizierung auch für KI-Anwendungen genutzt werden können und welche zusätzlichen Verfahren, Methoden notwendig sind. Zudem beschäftigten sich die Demonstratoren und der Use Case mit unterschiedlicher Komplexität und verschiedenen Gefahrenklassen der KI. Damit wurde der Nachweis erbracht, inwieweit KI für eine Zulassung grundsätzlich geeignet ist und Kenntnisse über Änderungen/Erweiterungen der heutigen Zertifizierungsmethoden und Verfahren liefern.

Am Beispiel eines Arrival Managers (AMAN) ist aufgezeigt worden, wie KI-Anwendungen in einem hochkomplexen und sicherheitsrelevanten Umfeld eine Zertifizierung und die

damit einhergehenden Entwicklungsmaßnahmen sowie Tests und Abnahmeverfahren erfolgen kann.

In einem ersten Schritt wurden die bestehenden Vorschriften und Methoden hinsichtlich der Eignung für eine KI-Zertifizierung betrachtet. Sie dienten als Basis für ein mögliches Zertifizierungskonzept, welches mittels eines Demonstrators validiert wurde.

Beim Einsatz von KI-Lernverfahren ist es im Allgemeinen schwierig, ein bestimmtes Ergebnis anhand der Berechnungen im zuvor erlernten Modell für einen Menschen nachvollziehbar zu begründen. Sobald die Ergebnisse einer KI-Anwendung vollständig nachvollziehbar sind, ist die Grundlage für eine Zertifizierung gegeben. Dies sollte unter Berücksichtigung der juristischen, aber auch ethischen, wirtschaftlichen und menschlichen Aspekte über eine theoretische Betrachtung der unterschiedlichen KI-Methoden betrachtet werden.

Aufgrund des Erfahrungsgewinns mit den Demonstratoren und in den Anwendungsfällen, in engem Kontakt mit der EASA, die zeitgleich ihre Konzeptpapiere im Rahmen ihrer A“I Roadmap“ veröffentlicht hat, ist eine neue und geänderte Methodik erarbeitet worden.

Dadurch konnten sowohl nationale als auch internationale Grundlagen für eine Harmonisierung und Standardisierung von KI-Zertifizierung in der Luftfahrt geschaffen werden.

Des Weiteren können diese Grundlagen auch als Blaupause für andere Bereiche, in den ebenfalls eine Zertifizierung vorgeschrieben ist, dienen.

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

Es gab zum Start des Förderprojektes weder in der Luftfahrt noch in anderen, hochgradig sicherheitsrelevanten Bereichen (z.B. bei Medizingeräten / -produkten) nationale oder internationale Standards / Normen zur Zertifizierung von KI-Anwendungen.

Das Teilprojekt FLUKIS von DLR und DFS konnte nicht auf Vorarbeiten zurückgreifen, daher wurde zunächst ein Sachstand zur Zertifizierung von KI in der Luftfahrt erhoben. Da es sich hier um Prozesse, Verfahren und Vorgehensweisen handelt, ist die

wissenschaftliche und technische Verwertung nicht örtlich gebunden. Im Gegenteil, da die Air Traffic Managementsysteme auf internationaler Ebene harmonisiert sind und weder die Prozessketten noch die Nutzung der KI-Zertifizierung national oder auf die EU beschränkt werden können, ist eine globale Umsetzung geboten. Dies geschah durch die Einbindung der EASA.

### 1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Verbundprojekt KIEZ4-0 gliederte sich in fünf Hauptarbeitspakete, an denen die DFS jeweils maßgeblich beteiligt war. Die Teilarbeitspakete bildeten das Vorhaben FLUKIS, welche zum Teil mit dem DLR gemeinsam umgesetzt bzw. realisiert worden sind.

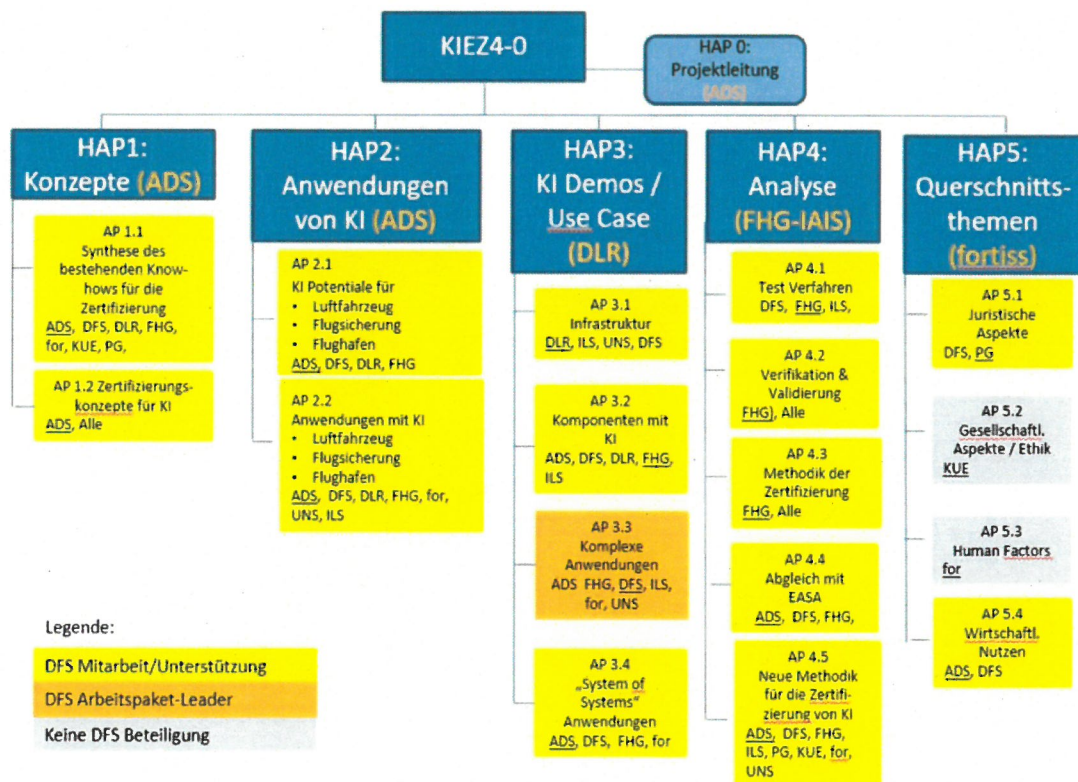


Abbildung 1: KIEZ4\_0 Projektstruktur

Die Zeit- und Meilensteinplanung für Kiez4\_0::

HAP	AP	2020				2021				2022				2023			
		Jul	Aug	Sep	Ok	Jan	Feb	Mär	Apr	Jan	Feb	Mär	Apr	Jan	Feb	Mär	Apr
HAP 1	AP 0 Projektdefinition																
Konzepte	AP 1 1 Synthese der bestehenden Know-How's für die Zertifizierung																
HAP 2	AP 1 2 Zertifizierungsansätze für KI																
Anforderungen von KI	AP 2 1 KI Potentiale für Luftabstimmung, Flugsicherung, Flughafen																
HAP 3	AP 2 2 Prozessmodelle für Luftabstimmung, Flugsicherung, Flughafen																
Use Cases und User-Cases	AP 3 1 Identifikation																
HAP 4	AP 3 2 Komponenten mit KI																
	AP 3 3 Komplexe Anwendungen																
	AP 3 4 System-of-Systems Anwendungen																
	AP 4 1 Test Verfahren																
HAP 5	AP 4 2 Validierung																
	AP 4 3 Methoden der Zertifizierung																
	AP 4 4 Abgleich mit EASA																
	AP 4 5 Bewertung der Zertifizierung																
HAP 6	AP 5 1 Juristische Aspekte																
	AP 5 2 Betriebliche Aspekte / Ethik																
	AP 5 3 Human Factors																
	AP 5 4 Wirtschaftlicher Nutzen																
	AP 5 5																
Meilensteinplan	M1 Bereich: Bestehende Zertifizierungsverfahren																
	M2 Lösungskonzepte für eine KI-Zertifizierung																
	M3 Bereich: Potenzielle Anwendungen																
	M5 Funktionsnachweis KI User-Cases und lauffähige Demonstrationen																
	M6 Zwischenergebnis der validierten Methoden																
	M7 Erweitertes KI-Verfahrenskonzept																
Bereiche	Bereiche																

Abbildung 2: Zeit und Meilensteinplanung

Die ursprüngliche Zeitplanung konnte nicht umgesetzt werden. Der Starttermin für das Projekt wurde durch den Konsortialführer Airbus mit der Förderzusage auf den 01.07.2020 gesetzt. Die DFS konnte allerdings erst im September 2020 mit den Projektarbeiten beginnen, da die Förderzusage für die DFS vermutlich auf dem postalischen Weg verschwand und damit die Grundlage für die Arbeiten an dem Projekt nicht gegeben waren (interner DFS-Prozess). Des Weiteren behinderten die Corona-Maßnahmen den Projektablauf erheblich. Dies alles führte dazu, dass die Arbeiten für die einzelnen Arbeitspakete nicht wie geplant durchgeführt werden konnten. Maßnahmen wie eine teilweise Parallelisierung (da wo es möglich war) von Arbeitspaketen konnten den ursprünglichen Endtermin des Projektes nicht halten. Aus diesem Grund hat der Konsortialführer Airbus beim BMWK (früher: BMWi) um eine Verlängerung des Projektes bis Ende 2023 gebeten, welchem zugestimmt wurde.

#### **1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde**

Das Teilprojekt konnte nicht auf Vorarbeiten zurückgreifen. Es wurde daher zunächst ein Sachstand zur Zertifizierung von KI in der Luftfahrt erhoben. Es handelte sich dabei um Prozesse, Verfahren und Vorgehensweisen.

Die Ergebnisse konnten auf andere Innovationen übertragen und genutzt werden. Die DFS hat als Mitglied in der EUROCAE Working Group 114 „Artificial Intelligence in Aeronautical Systems“ aktiv die Ergebnisse aus dem Verbundvorhabens KIEZ4-0 eingebracht.

Die in KIEZ4-0 adressierten Zertifizierungsmöglichkeiten basieren auf der Technologiestrategie des Bundesverbandes der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie e.V. (BDLI) (04/18 – Erweiterte und aktualisierte Ausgabe 2018) und dienen dazu, die Ausgangslage der deutschen Luftverkehrsindustrie im Single European Sky (SES) zu stärken. Auch ist eine enge Verzahnung der Aktivitäten mit dem europäischen Forschungsvorhaben SESAR 2020 gegeben. Die Entwicklungen sind komplementär zu den Projektinhalten von SESAR (z.B.: Solution PJ.02-W2-21 „Digital evolution of integrated surface management“) zu sehen. Eine gegenseitige Berücksichtigung, Ergänzung und Abgrenzung ohne Überschneidungen ist durch den Einbezug der SESAR-Aktivitäten sichergestellt. Des Weiteren erfolgte eine enge Verkopplung mit DFS-internen KI-Projekten (z.B.: Flight Level Prediction with Neuronal Network).

#### **1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Mit dem Förderprojekt KIEZ4-0 und den u.g. Projektpartnern wurde in dieser Hinsicht Neuland beschritten. Aus diesem Grund waren Partner mit unterschiedlichen Know-How-Schwerpunkten vertreten, um alle Aspekte berücksichtigen zu können.

*Federführer: Airbus Defence and Space GmbH, Willy-Messerschmitt-Str. 1,  
82024 Taufkirchen*

*Partner 1: DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Am DFS-Campus 10, 63225 Langen*

*Partner 2: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Linder Höhe, 51147  
Köln*

*Partner 3: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.,  
Hansastraße 27 c, 80686 München für ihre:*

- Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme (IAIS),  
Schloss Birlinghoven, 53757 Sankt Augustin,*
- Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie (FKIE), Fraunhoferstr. 20, 53343 Wachtberg*
- Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme (FOKUS),  
Kaiserin-Augusta-Allee 31, 10589 Berlin*

*Partner 4: Prof. Dr. Elmar Giemulla, Schopenhauerstr. 51, 14129 Berlin*

*Partner 5: fortiss GmbH, Guerickestraße 25, 80805 München*

*Partner 6: Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt, Ostenstraße 26,  
85072 Eichstätt*

*Partner 7: IILS mbH, Albstraße 6, 72818 Trochtelfingen*

*Partner 8: Universität Stuttgart, Ausführende Stelle Institut für Flugzeugbau,  
Pfaffenwaldring 31, 70569 Stuttgart*

Des Weiteren ist der Austausch und Abgleich der Arbeiten mit der EASA durchgeführt worden. Die Agentur der Europäischen Union für Flugsicherheit (EASA; European Union Aviation Safety Agency) ist die oberste Flugsicherheitsbehörde für die zivile Luftfahrt in der Europäischen Union.

Die Aufgabe der EASA ist zum einen, einheitliche Sicherheitsstandards zu definieren und zum anderen die Überwachung der Einhaltung derselben. Sie berät hierbei die Europäische Kommission auf dem Gebiet des Luftverkehrs. Des Weiteren gehört die Erstellung von Vorschriften, Aktualisierungen, Inspektionen, Standardisierungen usw. dazu.

## 2 Eingehende Darstellung der Ergebnisse

### 2.1 Die Verwendung der Zuwendung und der erzielten Ergebnisse im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Arbeitspaket	Arbeitspaketbeschreibung	Ergebnis
AP1.1	Ziel ist es den Stand der Wissenschaft und Technik in der Luftfahrt, insbesondere in dem Bereich Flugsicherung, zu analysieren und die heute bestehenden rechtlichen und regulatorischen Aspekte mit Bezug auf KI zu identifizieren.	Die bestehenden und angewandten Regularien und Standards der Flugsicherung beziehen sich in der Regel auf "technische" Aspekte und sind statischer Natur, d.h.: das Testergebnis ist eindeutig und lässt keine Abweichung zu. Diese Vorgehensweise ist für eine Zertifizierung von KI-basierten Systemen und deren statistischen Lernmethoden und Ergebnissen unzureichend. Erste Ansätze und Studien zeigen auf, dass ein risikobasierter Ansatz und die operationellen Umstände in die Betrachtung einbezogen werden müssen. Dieser Ansatz muss in einem Konzept zur Zertifizierung von KI-Anwendungen mitbetrachtet und integriert werden.
AP1.2	Die gewonnenen Erkenntnisse aus AP1.1 werden mit den der Partnern für eine mögliche Zertifizierung von KI in einem Konzept berücksichtigt. Hierbei ist auch der unterschiedliche Ansatz für die Zertifizierung in der Luftfahrt und Flugsicherung zu berücksichtigen	Die DFS und das DLR erfassten die notwendigen Bausteine für ein Konzept zur Zertifizierung eines Flugsicherungssystems mit KI-basierten Elementen. Es wird aufgezeigt, aufgrund welcher Annahmen das Konzept erstellt wurde und welche Inhalte dieses zum Gegenstand hat. Dabei wurde die komplette Lifecycle-Dokumentation der KI-Anwendung berücksichtigt und auch die der Zertifizierung vorangestellten bzw. in deren Kontext stehende Aktivitäten und Dokumente einbezogen, die für einen Flugsicherungsdienstleister relevant sind.

AP2.1	Die DFS wird gemeinsam mit dem DLR im Bereich Air Traffic Management die Potentiale für mögliche KI-Anwendungen identifizieren und die geeigneten Anwendungen klassifizieren und in einem Bericht beschreiben.	Es wurden die aktuellen KI-Forschungsaktivitäten und Arbeiten der DFS und des DLR dargelegt. Es gibt Auskunft über die aktuellen und künftig möglichen, identifizierten Anwendungsgebiete für KI im Bereich der Flugsicherung, sowohl bei direkt unterstützenden Aufgaben wie der Sequenzierung von Anflügen, als auch bei der Erstellung von Prognosen oder Analysen über erwartete Flugbewegungen und daraus resultierende Kapazitäten in Lufträumen oder mögliche Frühwarnung beim Erkennen von Annäherungen, bis hin zur ex-post Ermittlung von Flugplandaten für die Gebühreuzuweisung an die Luftraumnutzer.
AP2.2	Am Beispiel des Demonstrators AMAN soll in Zusammenarbeit mit dem DLR aufgezeigt werden, ob die genutzte KI-Methode mittels des in AP1.2 entwickelten Zertifizierungskonzeptes genutzt werden kann. Hierfür sind die Anforderungen festzulegen.	Der Arrival Manager „AMAN“ hat die Funktion, den Fluglotsen bei der Erstellung von Sequenzen von Luftfahrzeugen im Anflug auf einen Flughafen zu unterstützen. Insbesondere das reine „sequencing“ lässt sich durch KI-basierte Methoden umsetzen. Es wurde festgelegt, nach welcher Methodik das maschinelle Lernen erfolgt, welche Daten hierfür verwendet werden und welches die Kriterien für die Erfolgskontrolle sind. Des Weiteren sind die Anforderungen an eine Sicherheits- sowie Referenzkomponente aufgesetzt worden. Damit soll die Genauigkeit der vorgeschlagenen Reihenfolgen in einem zur Komplexität des jeweiligen Flughafens im Verhältnis stehenden Akzeptanzrahmen geprüft werden.

AP3.1	Die Definition und Aufbau der für die Zertifizierung notwendigen Infrastruktur, die die Testumgebung, die Testwerkzeuge sowie die notwendigen Daten und Szenarien beinhaltet.	Die Infrastruktur des Demonstrators mit den notwendigen Komponenten wurde beschrieben und festgelegt. Des Weiteren wurden die grundlegenden Betrachtungen für die Szenarien, welche bei den RUNs genutzt werden sollen, und Überlegungen zu den methodischen Vorgehensweisen definiert.
AP3.2	In diesem Arbeitspaket werden die Trainingsdaten erstellt, damit der AMAN die Anflugplanung für einen Flughafen lernen kann. Die Trainingsdaten werden so aufgesetzt sein, dass nicht nur die Standardsituationen, sondern ebenso die kritischen Situationen betrachtet werden. Mit diesen Daten wird der AMAN in einer Simulationsumgebung, welche durch den Partner DLR gestellt wird, den anfliegenden Verkehr klassifizieren und mit den Ergebnissen eine Sequenz berechnen.	Es konnte festgestellt werden, dass die Vorteile des ML-Ansatzes durch das neue Prädiktionsverfahren im ML AMAN Anflugsequenzen mit deutlich besseren Ergebnissen der Anflugreihenfolge, als die eines konventionellen AMANs berechnet werden können. Diese höhere Güte der Planungen wird besonders im APP-Bereich deutlich. Damit ist zu erwarten, dass mit dem ML basierten Ansatz eine noch bessere Akzeptanz bei den APP Lotsen als mit dem 4D-Planer (den bei der DFS zur Zeit genutzten konventionellen AMAN) erreicht werden kann. Ein weiterer Vorteil ist, dass der ML AMAN nicht mehr durch Programmierung an einen neuen Standort angepasst werden muss. Dies geschieht ausschließlich durch die Trainingsdaten ohne weiteren Programmieraufwand. Die Implementierung für einen neuen Standort kann damit, im Gegensatz zu heute, in nur wenigen Tagen durchgeführt werden, wohingegen die Implementierung eines neuen Flughafens mit dem 4D-Planer einige Monate dauert.

AP3.3	<p>In diesem Arbeitspaket werden die auf Basis von den Use Case und Demonstratoren gemachten Erfahrungen zur Anwendung der Zertifizierungsmethodik auf komplexere Systeme und Anwendungen übertragen.</p> <p>Unter einer komplexen KI-Anwendung wird verstanden, dass die Machine Learning - Komponente auch im operativen Betrieb – anhand der dort anfallenden Daten und Muster – mit dem Ziel der kontinuierlichen Selbstverbesserung weiterlernt.</p> <p>Um sicherzustellen, dass das weitere Lernen auch zu einer Verbesserung der Ergebnisse führt, wird ein Leistungsmaß definiert, welches es erlaubt, zwei KI-basierte Komponenten (Gelernte vs. Lernende) miteinander zu vergleichen.</p>	<p>Ein KI-AMAN, der im laufenden Betrieb periodisch mit aktuellen Daten weiterversorgt wird, wurde als komplexe Anwendung angesehen. Nicht die Daten stellten somit die Herausforderung dar, sondern das Wissen, ob sich die Ergebnisse verschlechtern oder verbessern. Hierzu wurde eine Sicherungskomponente eingesetzt, die die zuvor festgelegten Grenzwerte und Unzulänglichkeiten (wie z.B. Unterschreiten von Staffelungsmindestwerten) prüfte und im Falle einer Über- bzw. Unterschreitung alarmiert.</p> <p>Zusätzlich wurde eine Monitoring- und Alarmfunktion eingebaut, die die aktuell vom KI-AMAN vorgeschlagene Landereihenfolge eines aufeinanderfolgenden Flugzeugpaares gegen die aus Live-Daten ermittelte Reihenfolge während des Landevorgangs abprüfte. Die Festlegung eines Leistungsmaßes bestimmte die Alarmierungsschwelle. Im Falle des KI-AMAN war dies eine Wahrscheinlichkeitsangabe, zu der der ermittelte Vorschlag mit dem aktuellen Verkehr übereinstimmen musste. Tat er dies nicht, erfolgte ebenfalls ein Alarm.</p> <p>Dem Lotsen mussten alle verwendeten Parameter bekannt sein, um ihn von der Unterstützungsleistung des KI-AMAN zu überzeugen, die er jederzeit mit seiner eigenen Entscheidung außer Kraft setzen konnte.</p> <p>Die Verwendung einer Sicherungskomponente mit plausibel eingestellten Parametern, die den KI-AMAN</p>
-------	---	---

		überwacht, Vergleiche mit dem aktuellen Verkehrsszenario zieht und Alarme bei Nicht-Erreichen festgelegter Grenzwerte abgibt, gehörte zum Testszenario, um das Weiterlernen mit betriebsrelevanten, neuen Daten für die Zertifizierungsprüfung als anforderungsgerecht zu bestätigen.
AP3.4	Zukünftig werden KI-Funktionalitäten/Applikationen in einem komplexen System-of-Systems (SoS) mit anderen KI-Funktionalitäten/Applikationen interagieren. Dies bedeutet, dass das Zusammenspiel innerhalb eines SoS betrachtet werden muss. Aufgrund der hohen Kosten und der damit verbundenen technischen Hürden ist eine Umsetzung innerhalb des Projekts nicht möglich. Daher wird eine theoretische Betrachtung der gegenseitigen Beeinflussung der Systeme anhand der durchgeführten Anwendungsfälle und der zugehörigen Demonstratoren aufgezeigt.	In diesem Dokument wurden die auf Basis von den Use Case und Demonstratoren gemachten Erfahrungen aus AP3.2 "Komponenten mit KI" zur Anwendung der Zertifizierungsmethodik auf System of Systems Anwendungen genutzt. Um sicherzustellen, dass sich für die vernetzten KI-Funktionalitäten kein weiteres (neues) Risiko zu den bisher bekannten, ergibt. Insgesamt kann als Ergebnis festgehalten werden, erfordert die Erklärbarkeit eines vernetzten Systems mit mehreren KI-Komponenten in der Luftfahrt einen umfassenden und maßgeschneiderten Ansatz, der die Komplexität, die Abhängigkeiten und die Sicherheitsanforderungen der Branche berücksichtigt. Erklärungen auf Systemebene, die in der Luftfahrt von entscheidender Bedeutung sind, da sie helfen zu verstehen, wie sich die Vorhersagen und Aktionen einer Komponente im gesamten vernetzten System ausbreiten. Transparente Dokumentation und klare Beschreibungen jeder KI-Komponente, die es den Stakeholdern ermöglichen, die internen Abläufe und verwendeten Algorithmen zu verstehen. Die Rückverfolgbarkeit

		durch umfassende Protokollierung und Aufzeichnung von Daten und Entscheidungen hilft dabei, die Pfade und Einflüsse verschiedener KI-Komponenten zu verstehen.
AP4.1 AP4.2	<p>Die Arbeitspakete sind aufgrund der Auswirkungen durch die Pandemie und den damit verbundenen Einschränkungen zusammengelegt worden. Ziel des ersten Arbeitspaket war die Identifikation, Adaption und Weiterentwicklung von Testverfahren für Qualitätsbewertung von KI-basierten Systemen, unter Berücksichtigung der identifizierten relevanten Qualitätsattribute, soweit der in HAP1 identifizierten Gefahrenpotenziale und Risiken</p> <p>Das zweite Arbeitspakete setzt auf die Ergebnisse des vorherigen Arbeitspaket auf. Ziel ist die Verifikation und Validierung der unter AP4.1 definierten Testverfahren. Hierzu werden die entwickelte KI-basierte Komponente und die Referenz- oder Sicherheitskomponente des AMAN in eine geeignete Luftverkehrssimulationsumgebung des DLR Validierungszentrums Luftverkehr integriert und über entwickelte Verkehrsszenarien im Hinblick auf zuvor definierte Zertifizierungskriterien überprüft. Es sollen insbesondere Aussagen über die Eignung des Referenzsystems im Hinblick auf die Absicherung des Gesamtsystems getroffen werden.</p>	<p>Die beiden Arbeitspakete sind aufgrund von Synergien zusammengeführt worden. Am Beispiel des AMAN-Demonstrators wurde identifiziert und analysiert, welche der bestehenden Testverfahren der bereits heute genutzten Methoden für das AMAN-System mit einer ML-Komponente übernommen werden können und welche Erweiterungen für ein KI-basiertes System notwendig sind. Grundsätzlich konnte festgestellt werden, dass viele der heute angewendeten Verfahren und Methoden in der Flugsicherung, die zu einer Freigabe und damit zur operativen Nutzung führen, ebenfalls bei der Zertifizierung von KI-Funktionen/System genutzt werden können. Als eine der bereits heute genutzten Verfahren konnte die Sicherheitsbewertung genannte werden. Andere Aspekte, die es für eine KI zu betrachten galt, waren unter anderem eine Sicherungskomponente, unter bestimmten Umständen eine Referenzkomponente, die Kritikalitätseinstufung für das AI-System/Funktion und die Datenqualität für das Training.</p>

AP4.3	<p>Basierend auf die Ergebnisse aus den Arbeitspaketen AP4.1 und AP4.2 erfolgt der Aufbau eines Werkzeugkastens aus bekannten und neuen Methoden und Maßnahmen zur Sicherstellung der Sicherbarkeit von KI samt der Bewertung hinsichtlich Ihrer Aussagekraft für die Zertifizierbarkeit von KI in Luftfahrtanwendungen. Darauf aufbauend erfolgt die Ableitung von standardisierbaren Tests und Testanforderungen, die in Summe ein allgemeines methodisches Vorgehen zur Absicherung von KI-Funktionen abbilden.</p> <p>Die DFS wird die Methodik der Zertifizierung eines Systems bestehend aus einer KI-Komponente basierend auf den Ergebnissen der Validierung für das Air Traffic Management System untersuchen. Ein Abgleich mit anderen entwickelten Konzepten des Vorhabens verglichen und bewertet. Vorschläge für zukünftige Zertifizierungsmethoden und -Kriterien werden diskutiert.</p>	<p>Es wurden zunächst die bestehenden Normen und Standardisierungsinitiativen für die Bewertung von KI-Komponenten und -Anwendungen untersucht. Das meiste veröffentlichte Material bewegt sich auf einer sehr hohen Abstraktionsebene; bisher liefert keine Norm konkrete Anforderungen und Ziele für die Zertifizierung von KI, zusammen mit Methoden, wie die Ziele erreicht werden könnten und wie dies gemessen werden könnte.</p> <p>Daher sind Zertifizierungsansätze auf Komponenten- und Systemebene betrachtet worden. Auf der Komponentenebene sind Methoden für die Zertifizierung von suchbasierten KI-Komponenten identifiziert, insbesondere für den Anwendungsfall AMAN. Auf der Systemebene wurden Methoden zur Zertifizierung menschlicher Faktoren, z.B. für Luft/Boden-Kommunikationsausrüstung betrachtet. Jede Methode wird in Tabellen beschrieben und ihre Eignung im Kontext der Zertifizierung betrachtet. Schließlich wurden die Anforderungen in eine Zertifizierungsmethodik formuliert, die auf den hier diskutierten Methoden aufbaut und die sowohl für KI-Komponenten als auch für KI-basierte Systeme angewendet werden kann.</p>
AP4.4	<p>Die geänderten/neuen Methodiken für eine Zertifizierung von KI-Anwendungen sind mit der EASA abzugleichen.</p>	<p>Nach Analyse des aktuellen Rechtsrahmens, der sich im Laufe des Projekts verändert hat und mittlerweile in Kraft gesetzt ist, gelten für ein System mit der Funktionalität, wie sie der AMAN liefert, weder die Zertifizierungserfordernisse noch</p>

		<p>enthalten diese einen Bezug dazu, wie mit KI-Anteilen umzugehen wäre. Die etablierten Prozesse für die Prüfung von Flugsicherungssystemen wurden also für die Zertifizierungsmethodik verwendet. Zusätzlich wurden für den KI-Anteil Schritte aufgestellt, welche aus den EASA-Guidelines für die Zertifizierung von KI übernommen wurden. Nach einem Konsortiumstreffen mit EASA konnte festgestellt werden, dass die aufgestellte Toolbox ohne weitere Anpassungen vollumfänglich anwendbar war.</p>
AP4.5	<p>Es wird davon ausgegangen, dass einzelne Zertifizierungsschritte (e.g. Safety Assessment) und Erkenntnisse aus den HAP 5 eine neue Methodik verlangen. In dieses Arbeitspaket fließen die Ergebnisse der Querschnittsaspekte.</p> <p>Die DFS wird die Auswirkungen aus den Querschnittsarbeitspaketen mit Blick auf die Zertifizierungsmethoden im Flugsicherungsbereich bewerten.</p>	<p>Nach dem Abgleich der entwickelten Methodik mit den EASA-Empfehlungen und der Analyse der daraus gewonnenen Erkenntnisse stellt sich heraus, dass das etablierte Zertifizierungskonzept für die Systeme der KI-Stufe 1A (wie z.B. das AI-AMAN) unberührt bleibt. Tatsache ist, dass der Ansatz, sich auf empirische Funktionstests zu verlassen, wissenschaftlich nicht als das am besten geeignete Programmier- und Lernmodell erwiesen ist. Das etablierte Konzept verwendet Referenz- und Assurance-Komponenten und umfasst nicht nur die Überprüfung der Anforderungen, sondern auch die Validierung der Gesamtanwendbarkeit für den beabsichtigten Zweck in seiner integrierten Umgebung. Dieser Ansatz ist neu und geht über das hinaus, was in den EASA-Empfehlungen gefordert wird. es scheint jedoch als Grundvoraussetzung für ein KI-System der Stufe 1A akzeptabel zu sein.</p>

AP5.1	<p>Zunächst werden für das Gesamtvorhaben relevante, sowohl nationale und europäische Vorschriften als auch internationale Standards herausgelöst und analysiert. Die rechtliche Forschung in AP 5.1 umfasst folgende Bereiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Internationales Recht</li> <li>• Europäisches Recht</li> <li>• Nationales Recht</li> <li>• Querschnittsfragen.</li> </ul> <p>Das Arbeitspaket soll das Gesamtvorhaben rechtlich absichern und eine mögliche Umsetzung bewerten, damit mögliche Risiken identifiziert werden können. Die erarbeiteten Vorschläge können diese Hindernisse und Risiken berücksichtigen.</p> <p>Die DFS wird aus Sicht der Flugsicherung und der angewendeten regulatorischen Vorgaben das Arbeitspaket unterstützen</p>	<p>Die in HAP1 getroffenen Erkenntnisse über die Existenz von allgemein relevanten Rechtsrahmen wurden, auf das in HAP3 und 4 angewendete Vorhaben fokussiert. Dabei stellte sich heraus, dass das aufgestellte Zertifizierungskonzept für das System AMAN durch keine rechtliche Vorschrift beeinflusst wird. Als Tatsache blieb, dass sich der Ansatz auf empirische Funktionstests beruft, wobei nicht wissenschaftlich belegt ist, dass das gewählte Programmier- und Lernmodell, das am besten geeignete ist. Das aufgestellte Konzept mit der Verwendung von Referenz- und Sicherungskomponente, dass nicht nur die Verifizierung von Anforderungen beinhaltet, sondern auch die Validierung der Gesamtanwendbarkeit für den beabsichtigten Zweck in seinem integrierten Umfeld, unter Abdeckung aller relevanten Punkte aus den EASA-Empfehlungen, scheint somit für ein System mit KI akzeptabel zu sein.</p>
AP5.4	<p>Anhand der geänderten Methodik zur Verifizierung und den damit einhergehenden Aufwänden soll identifiziert werden welches Kosten/Nutzen-Verhältnis durch Anwendung von KI Applikationen im Air Traffic Management Systemen zukünftig zu erwarten ist.</p>	<p>Das AP 5.4 wurde nicht umgesetzt, da sich im Verlauf des Projekts herausgestellt hat, dass die initial vorgesehene Wirtschaftlichkeitsbetrachtung aufgrund mangelnder Vergleichsdaten leider nicht durchgeführt werden konnte.</p>

Tabelle 1

## **2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises**

Zur Umsetzung des Projektes waren fast ausschließlich Kosten für das einzusetzende Personal notwendig. Aufgrund der COVID-19 Pandemie sind fast keine Reisekosten angefallen, da viele Meetings online stattfanden. Die vom Projektträger bewilligten Kosten konnten eingehalten werden.

## **2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

Ein wesentlicher Vorteil der Künstlichen Intelligenz besteht darin, die Nutzer bei Entscheidungen und Routineaufgaben zu unterstützen. Mittels automatisierter Lernverfahren können große Datenmengen maschinell bearbeiten und über Muster in den Daten zielgerichtet zur Entscheidungsfindung, aber auch zur Entlastung von Routinearbeiten in der Flugsicherung beitragen. So können frühzeitig Vorhersagen über Sektorauslastungen, aber auch vorrausschauende Situationsanalyse durchgeführt werden.

Entscheidend ist, dass die KI vorher parallel zum realen Betrieb trainiert und ihre Vorhersagen und Vorschläge über längere Zeit hinweg mit menschlicher Intelligenz verifiziert werden müssen. Aus diesem Grund war ein Projektziel ein Verfahren zur Zertifizierung mit realitätsnahen Daten in einer Referenzumgebung zu entwickeln, in der die Verhaltensweisen der Künstlicher Intelligenz analysiert und robuste, nachvollziehbare Reaktionen auf außergewöhnliche Situationen sichergestellt werden können.

Wesentliche Aspekte sind dabei die Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Daten, Algorithmen und Ergebnisse. Da Entscheidungen durch Künstliche Intelligenz nicht deterministisch sind, soll auch die Methodik der Zertifizierung überarbeitet werden.

Die Arbeiten der DFS waren angemessen und entsprachen im Wesentlichen der Vorhabenbeschreibung. Ohne die Förderung wäre eine Zusammenarbeit in dieser Konstellation aus Industrie und Forschung nicht möglich gewesen.

## **2.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans**

Der Ausbau der Expertise im Bereich der Zertifizierung von KI -Systemen für die Flugsicherung im Rahmen des KIEZ-Projekt im Bereich der sicherheitskritischen und

komplexen Anwendungen stärkt weiter den Test- und Abnahmeprozess sowie die Qualität der operativen Systeme.

Bisher konnten KI-Systeme oder Applikationen nicht in einer komplexen und sicherheitsrelevanten Umgebung der Flugsicherung eingeführt werden. Mit den im Projekt KIEZ4.0 entwickelten Rahmenbedingungen und Vorgehensweisen zu einer zukünftigen Zertifizierung konnte ein Verfahrensansatz entwickelt werden, der einen erstmaligen Einsatz von KI in der Luftfahrt unterstützt.

Ein weiterer Aspekt ist eine Reduzierung der Entwicklungs- und Instandhaltungskosten, da die unterschiedlichen Voraussetzungen und Rahmenbedingungen an den einzelnen Standorten nicht mehr mit jeweils einem eigenen Algorithmus ausgestattet werden müssen. Des Weiteren wird mit der Nutzung von KI-Anwendungen eine Steigerung des Automatisierungsgrad in der Luftfahrt vorangetrieben.

Die Ergebnisse werden bzw. sind in wissenschaftliche Publikationen und internationalen Gremienarbeit eingeflossen und sind/werden damit einem erweiterten Anwenderkreis zugänglich gemacht.

## **2.5 Während der Durchführung bekannt gewordener Fortschritt Dritter**

Die DFS als Flugsicherungsservicedienstleister benötigt im Bereich Luftfahrt für die Zertifizierung und Zulassung eigenes Wissen und Erfahrung, um sich auch weiterhin als exzellenter Partner in die nationale und internationale Luftfahrt einbringen zu können. Durch die Mitarbeit am Projekt KIEZ 4.0 wurde diese Position gestärkt. KI wird auch im Bereich Luftfahrt als Zukunftstechnologie gesehen. Ansätze finden sich bei SESAR 2020, wo auf europäischer Ebene eine enge Verzahnung der Aktivitäten der Forschungsvorhaben gegeben ist. Eine gegenseitige Berücksichtigung, Ergänzung und Abgrenzung wurden durch den Einbezug der SESAR Aktivitäten (an denen die DFS beteiligt war/ist) in das KIEZ4.0 Projekt sichergestellt. Die dort gewonnenen Erkenntnisse flossen bei der Projektumsetzung mit ein.

Des Weiteren erfolgt eine enge Verkopplung mit DFS internen KI-Projekten (Flight Level Prediction with Neuronal Network). Das übergeordnete Ziel war, das gewonnenen Know-How aus den Projekten im KIEZ-Projekt einfließen zu lassen.

Da die EASA mit Safety Oriented Risk Assessment (SORA) völlig andere Lösungsräume jenseits der heutigen Verfahren betrachtet, wurden in mehreren Workshops gemeinsam mit der EASA eine systematische Betrachtung, die eine intensive Verflechtung aller Fachdisziplinen aufgezeigt hat, durchgeführt. Die Erkenntnisse und auch zukünftigen Regelungen sind mit in der Betrachtung aufgenommen und berücksichtigt worden.

Aufgrund der unterschiedlichen Expertise der Konsortialpartner im KIEZ-Projekt konnten unterschiedliche Aspekte, Erfahrungen aber auch Verflechtungen mit artfremden Bereichen (nicht Luftfahrtbereiche) und deren Erfahrungen ausgetauscht und ggf. im Projekt berücksichtigt werden.

## **2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichung des Ergebnisses**

### **2.6.1 Erfolgte Veröffentlichungen**

Im Rahmen des Innovationssymposium „Künstliche Intelligenz“ am 15.09.2022 in Berlin wurde im Forum „KI in der Flugsicherung: Unterstützung von Fluglotsen und Flugsicherungsagenturen der Beitrag „AUFBAU EINES DEMONSTRATORS IM PROJEKT KIEZ4-0 (KÜNSTLICHE INTELLIGENZ EUROPÄISCH ZERTIFIZIEREN UNTER INDUSTRIE 4.0) vorgestellt.

Ahrenhold, Nils und Lüttel, Michael (2023) Aufbau eines Demonstrators im Projekt KIEZ4-0 (Künstliche Intelligenz europäisch Zertifizieren unter Industrie 4.0). In: DLRK 2022. Nationalbibliothek. DLRK 2022, Dresden. doi: 10.25967/570383.

Eine Veröffentlichung in der DFS-Zeitschrift „Innovation im Fokus“ zur Umsetzung und Entwicklung des KI-AMAN erfolgte im April 2022:

Daniel Seidel „Prädiktion von Anflugsequenzen mit Verfahren des maschinellen Lernens“ Innovation im Fokus, April 2022.

Juristische Aspekte wurden in der DFS-Zeitschrift „Innovation im Fokus“ Ausgabe 1 – 2024 am 24.06.2024 unter dem Titel

„Rechtliche Grundlagen der Zertifizierung von ATM/ANS-Ausrüstung“ von Michael Lüttel, Andrea Gartemann, Elmar M. Giemulla\* & Heiko van Schyndel\* (\*selbständige Rechtsanwälte) (ISSN-Nr. der Printversion: 2198-8951)

veröffentlicht.

DFS intern wurde am 24.05.2022 im Intranet der Artikel „DFS testet beim DLR-Arrival-Manager mit künstlicher Intelligenz“ veröffentlicht.

<https://dfsde.sharepoint.com/sites/dfs-news/SitePages/DFS-und-DLR-testen-Arrival-Manager-mit-k%C3%BCnstlicher-Intelligenz.aspx>

### **2.6.2 Geplante Veröffentlichungen**

Unterstützung einer DLR-Veröffentlichung zum Thema Zertifizierung von KI-Anwendungen.

Mühlhausen, Thorsten et al. „Certification of AI-Applications in ATM“, 10/2024

### **3 Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: KIEZ4_0 Projektstruktur	7
Abbildung 2: Zeit und Meilensteinplanung	8

## 4 Abkürzungsverzeichnis

AMAN	Arrival Managers
ATM	Air Traffic Managementsysteme
BDLI e.V.	Bundesverbandes der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klima
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DFS	Deutsche Flugsicherung
EASA	European Union Aviation Safety Agency
EU	Europäische Union
EUROCAE	European Organization for Civil Aviation Equipment
FLUKIS	Flugsicherungs-KI - DFS
KI	Künstliche Intelligenz
KIEZ4_0	Künstliche Intelligenz Europäisch Zertifizieren unter Industrie 4.0
SES	Single European Sky
SESAR	Single European Sky ATM Research Programme

**5 Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1

11 – 19

## 6 Angabe der verwendeten Literatur

1. "EASA -Konzeptpapier": EASA Concept Paper: First usable guidance for Level 1 machine learning applications, Proposed Issue 01, ([https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/easa\\_concept\\_paper\\_first\\_usable\\_guidance\\_for\\_level\\_1\\_machine\\_learning\\_applications\\_-\\_proposed\\_issue\\_01\\_1.pdf](https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/easa_concept_paper_first_usable_guidance_for_level_1_machine_learning_applications_-_proposed_issue_01_1.pdf))
2. "Reg. 373": Durchführungsverordnung (EU) 2017/373 der Kommission vom 1. März 2017 zur Festlegung gemeinsamer Anforderungen an Flugverkehrsmanagementanbieter und Anbieter von Flugsicherungsdiensten sowie sonstiger Funktionen des Flugverkehrsmanagementnetzes und die Aufsicht hierüber sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 482/2008, der Durchführungsverordnungen (EU) Nr. 1034/2011, (EU) Nr. 1035/2011 und (EU) 2016/1377 und zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 677/2011 (ABl. L 62 vom 8.3.2017, S. 1)
3. "ALTAI" EU Commission Assessment List for Trustworthy AI (siehe <https://futurium.ec.europa.eu/en/european-ai-alliance/pages/altai-assessment-list-trustworthy-artificial-intelligence>)
4. "FA SiSW" DFS-interne Fachliche Anweisung für Sicherheit von Software im System Flugsicherung, VY-4/2013
5. "NIS-Directive" Richtlinie (EU) 2016/1148 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Juli 2016 über Maßnahmen zur Gewährleistung eines hohen gemeinsamen Sicherheitsniveaus von Netz- und Informationssystemen in der Union (ABl. L 194 vom 19.7.2016, S. 1)
6. "KRITIS-VO" Verordnung zur Bestimmung Kritischer Infrastrukturen nach dem BSI-Gesetz (BGBl. 2016 I S. 958)
7. DFS-interne Richtlinie Angriffssicherheit V1.0
8. Landi, A. and Nicholson, M., "ARP4754A/ ED-79A - Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems - Enhancements, Novelties and Key Topics," *SAE Int. J. Aerosp.* 4(2):871-879, 2011
9. Fraunhofer Gesellschaft, Felix Govaers, Arne Schwarze et.al., Report on Research Developments in AI for Certifiable Applications in Aerospace, KIEZ 4.0 Report, 31.01.2021
10. Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. Alejandro Barredo, Arrieta NataliaDíaz-Rodríguez et.al., *Elsevier Information Fusion, Volume 58*, June 2020, Pages 82-115.
11. M. Radanovic, M. A. Piera Eroles, T. Koca, and J. Ramos Gonzalez, "Surrounding Traffic Complexity Analysis for Efficient and Stable Conflict resolution," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 95, pp. 105–124, 2018.
12. V. P. Jilkov, J. H. Ledet, and X. R. Li, "Multiple Model Method for Aircraft Conflict Detection and Resolution in Intent and Weather Uncertainty," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, pp. 1–1, 2018.
13. N. Yokoyama, "Decentralized Conflict Detection and Resolution Using Intent-Based Probabilistic Trajectory Prediction," in 2018 AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, ser. AIAA SciTech Forum. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2018.
14. S. Hao, S. Cheng, and Y. Zhang, "A Multi-Aircraft Conflict Detection and Resolution Method for 4-Dimensional Trajectory-Based Operation," *Chinese Journal of Aeronautics*, vol. 31, no. 7, pp. 1579–1593, 2018.

15. C. Allignol, N. Barnier, N. Durand, A. Gondran, and R. Wang, "Large Scale 3d En-Route Conflict Resolution," in ATM Seminar, 12th USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar, 2017.
16. Z. Liu, K. Cai, X. Zhu, and Y. Tang, "Large Scale Aircraft Conflict Resolution Based on Location Network," in 2017 IEEE/AIAA 36th Digital Avionics Systems Conference (DASC)
17. J. K. Kuchar and L. C. Yang, "A Review of Conflict Detection and Resolution Modeling Methods," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 1, no. 4, pp. 179–189, 2000.
18. C. Westin, C. Borst, and B. Hilburn, "Automation Transparency and Personalized Decision Support: Air Traffic Controller Interaction with a Resolution Advisory System," IFAC-PapersOnLine, vol. 49, no. 19, pp. 201–206, 2016.
19. C. Westin, B. Hilburn, C. Borst, and D Schaefer, "The Effect of Strategic Conformance on Acceptance of Automated Advice: Concluding the Mufasa Project," Proceedings of the SESAR Innovation Days, vol. 3, 2013.
20. Ngoc Phu Tran, Duc-Thinh Pham, Sim Kuan Goh, Sameer Alam, Vu Duong, "An Intelligent Interactive Conflict Solver Incorporating Air Traffic Controllers' Preferences using Reinforcement Learning," 2019 Integrated Communications Navigation and Surveillance (ICNS) Conference.
21. EASA, Artificial Intelligence Roadmap, A human-centric approach to AI in aviation, Version 1.0, February 2020
22. Autonomy and AI for Advanced Air Mobility, Gokhan Inalhan, 5th USA-Europe Technical Interchange Meeting 'Unmanned Aerial Systems and Urban Air Mobility', Virtual Event, November 2020
23. Common Trajectory Prediction Capability for Decision Support Tools, Sip Swierstra, EUROCONTROL HQ, Brussels, Steven M. Green, National Aeronautics and Space Administration, Ames Research Center, Moffett Field, CA, 5th USA-Europe ATM Seminar, Budapest, June 2003
24. Common Trajectory Prediction Capability for Decision Support Tools, Sip Swierstra, EUROCONTROL HQ, Brussels, Steven M. Green, National Aeronautics and Space Administration, Ames Research Center, Moffett Field, CA, 5th USA-Europe ATM Seminar, Budapest, June 2003....
25. BMDV - Sichere und faire Integration von Drohnen in den deutschen Luftraum - fAIRport (<https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/fairport.html>)
26. SESAR-Projekt "Highly automated air traffic controller workstations with artificial intelligence integration"- HAAWAI ( <https://www.haawaii.de/wp>)
27. Explain able Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. Alejandro Barredo Arrieta et. al., Elsevier Information Fusion 58 (2020), page 58-115....
28. BA-FVM Betriebsanweisung Flugverkehrsmanagement vom 27.01.2022
29. EASA Concept Paper: First usable guidance for Level 1 machine learning applications, April 2021
30. Air Traffic Management and Operations Simulator (ATMOS), [https://www.dlr.de/fl/desktopdefault.aspx/tabid-1964/1601\\_read-3103](https://www.dlr.de/fl/desktopdefault.aspx/tabid-1964/1601_read-3103)
31. Bansal, G., Nushi, B., Kamar, E., Weld, D. S., Lasecki, W. S., & Horvitz, E. (2019). Updates in Human-AI Teams: Understanding and Addressing the Performance/Compatibility Tradeoff. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, 2429-2437. <https://doi.org/10.1609/aaai.v33i01.33012429>
32. IBM <https://www.ibm.com/de-de/watson/explainable-ai>

33. V-Modell –Wikipedia
34. ISO/IEC TR 24028:2020 Information technology — Artificial intelligence — Overview of trustworthiness in artificial intelligence. <https://www.iso.org/standard/77608.html>
35. ISO/IEC 23894:2023 Information technology — Artificial intelligence — Guidance on risk management. <https://www.iso.org/standard/77304.html>
36. Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0) (2023) <https://doi.org/10.6028/NIST.AI.100-1>
37. ISO/IEC CD TR 5469 Artificial intelligence — Functional safety and AI systems <https://www.iso.org/standard/81283.html>
38. ISO/IEC CD 42005 Information technology — Artificial intelligence — AI system impact assessment <https://www.iso.org/standard/44545.html>
39. ISO/IEC 25059:2023 Software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — Quality model for AI systems <https://www.iso.org/standard/80655.html>
40. ISO/IEC/IEEE 29119 Software and systems engineering — Software testing
41. ISO/IEC TR 24029-1:2021 Artificial Intelligence (AI) — Assessment of the robustness of neural networks — Part 1: Overview <https://www.iso.org/standard/77609.html>
42. ISO/IEC DIS 5259 Artificial intelligence — Data quality for analytics and machine learning (ML)
43. ISO/IEC DTS 25058 Software and systems engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — Guidance for quality evaluation of AI systems <https://www.iso.org/standard/82570.html>
44. ISO/IEC AWI TS 17847 Information technology — Artificial intelligence — Verification and validation analysis of AI systems <https://www.iso.org/standard/85072.html>
45. Amershi, S., Begel, A., Bird, C., DeLine, R., Gall, H., Kamar, E., Nagappan, N., Nushi, B., & Zimmermann, T. (2019). Software Engineering for Machine Learning: A Case Study. 2019 IEEE/ACM 41st International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Practice (ICSE-SEIP), 291–300.
46. Barredo Arrieta, A., Díaz-Rodríguez, N., Del Ser, J., Bennetot, A., Tabik, S., Barbado, A., Garcia, S., Gil-Lopez, S., Molina, D., Benjamins, R., Chatila, R., & Herrera, F. (2020). Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. *Information Fusion*, 58, 82–115.
47. Gilstrap, Lewey. "Validation and verification of expert systems." *Telematics and Informatics* 8.4 (1991): 439-448.
48. Delegierte Verordnung (EU) 2023/1768 der Kommission vom 14. Juli 2023 zur Festlegung detaillierter Vorschriften für die Zertifizierung von Flugverkehrsmanagement-/Flugsicherungssystemen und deren Komponenten sowie die Abgabe entsprechender Erklärungen
49. Durchführungsverordnung (EU) 2023/1769 der Kommission zur Festlegung der technischen Anforderungen und Verwaltungsverfahren für die Genehmigung von Organisationen, die an der Entwicklung oder Herstellung von Systemen und Komponenten für Flugverkehrsmanagement und Flugsicherungsdienste beteiligt sind, und zur Änderung der Durchführungsverordnung (EU) 2023/203
50. Detailed Specifications and Acceptable Means of Compliance & Guidance Material for certification or declaration of design compliance of ATM/ANS ground equipment (DS-GE.CER/DEC) Issue 1 26 October 2023 sowie Detailed Specifications and Acceptable Means of Compliance & Guidance Material for statement of compliance of ATM/ANS ground equipment (DS-GE.SoC) Issue 1 26 October 2023

51. Alahi, A., Goel, K., Ramanathan, V., Robicquet, A., Fei-Fei, L., & Savarese, S. (2016). Social Istm: Human trajectory prediction in crowded spaces. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 961-971).
52. EASA Concept Paper: First usable guidance for Level 1 & 2 machine learning applications. Proposed Issue 02. (2023). [easa.europa.eu/ai, https://www.easa.europa.eu/en/downloads/137631/en](https://www.easa.europa.eu/en/downloads/137631/en)
53. EASA, Artificial Intelligence Roadmap 2.0, Human-centric approach to AI in aviation, European Union Aviation Safety Agency (EASA), Cologne, 2023, <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/easa-artificial-intelligence-roadmap-20>.
54. Jenn, E., Albore, A., Mamalet, F., Flandin, G., Gabreau, C., Delseny, H., ... & Pagetti, C. (2020, January). Identifying challenges to the certification of machine learning for safety critical systems. In Proceedings of the 10th European Congress on Embedded Real Time Systems (ERTS), Toulouse, France (pp. 29-31).
55. Johnson, M., Moore, L., & Ylvisaker, D. (1990). Minimax and maximin distance designs. *Journal of Statistical Planning and Inference*, ss. 131-148. [https://doi.org/10.1016/0378-3758\(90\)90122-B](https://doi.org/10.1016/0378-3758(90)90122-B)
56. Liu, H., Ong, Y., & Cai, J. (2018). A Survey of Adaptive Sampling for Global Meta-modeling in Support of Simulation-based Complex Engineering Design. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 57. doi:<https://doi.org/10.1007/s00158-017-1739-8>
57. Rudolph, S. (2002). Übertragung von Ähnlichkeitsbegriffen. Universität Stuttgart.
58. Taylor, M., Diaz, A. I., Jodar-Sanchez, L. A., & Villanueva-Mico, R. J. (2007). 100 Years of dimensional analysis: New steps toward empirical law deduction. <https://doi.org/10.48550/arXiv.0709.3584>
59. A. Barredo Arrieta u. a., „Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI“, *Information Fusion*, Bd. 58, S. 82–115, Juni 2020, doi: 10.1016/j.inffus.2019.12.012.
60. REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL LAYING DOWN HARMONISED RULES ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE (ARTIFICIAL INTELLIGENCE ACT) AND AMENDING CERTAIN UNION LEGISLATIVE ACTS
61. Delegierte Verordnung (EU) 2023/1768 der Kommission vom 14. Juli 2023 zur Festlegung detaillierter Vorschriften für die Zertifizierung von Flugverkehrsmanagement-/Flugsicherungssystemen und deren Komponenten sowie die Abgabe entsprechender Erklärungen
62. EASA-Grundverordnung - VERORDNUNG (EU) 2018/1139 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 4. Juli 2018 zur Festlegung gemeinsamer Vorschriften für die Zivilluftfahrt und zur Errichtung einer Agentur der Europäischen Union für Flugsicherheit sowie zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 2111/2005, (EG) Nr. 1008/2008, (EU) Nr. 996/2010, (EU) Nr. 376/2014 und der Richtlinien 2014/30/EU und 2014/53/EU des Europäischen Parlaments und des Rates, und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 552/2004 und (EG) Nr. 216/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates und der Verordnung (EWG) Nr. 3922/91 des Rates
63. Durchführungsverordnung (EU) 2021/116 der Kommission vom 1. Februar 2021 über die Festlegung des ersten gemeinsamen Vorhabens zur Unterstützung der Durchführung des europäischen Masterplans für das Flugverkehrsmanagement gemäß der Verordnung (EG) Nr. 550/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates, zur Änderung der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 409/2013 der

- Kommission und zur Aufhebung der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 716/2014 der Kommission (Text von Bedeutung für den EWR)
64. Conformity assessment of ATM/ANS equipment | DS-GE.CER/DEC — Issue 1 and DS-GE.SoC — Issue 1
  65. Durchführungsverordnung (EU) 2017/373 der Kommission vom 1. März 2017 zur Festlegung gemeinsamer Anforderungen an Flugverkehrsmanagementanbieter und Anbieter von Flugsicherungsdiensten sowie sonstiger Funktionen des Flugverkehrsmanagementnetzes und die Aufsicht hierüber sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 482/2008, der Durchführungsverordnungen (EU) Nr. 1034/2011, (EU) Nr. 1035/2011 und (EU) 2016/1377 und zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 677/2011
  66. ED-109A Corr 1 - Software Integrity Assurance Considerations for Communication, Navigation, Surveillance and Air Traffic Management (CNS/ATM) Systems
  67. ED-153 - Guidelines for ANS Software Safety Assurance
  68. Fachliche Anweisung Abnahmen und Freigaben der DFS
  69. EASA Concept Paper: First usable guidance for Level 1 & 2 machine learning applications. Proposed Issue 02. (2023). [easa.europa.eu/ai, https://www.easa.europa.eu/en/downloads/137631/en](https://www.easa.europa.eu/en/downloads/137631/en)