

Schlussbericht

Projektkronym	ATAP	Laufzeit in Monaten	16
Antragstellende Organisation	FH Aachen		
Förder-Kennzeichen	01FV1009A		
Beteiligte assoziierte Partner	Fachbereich 6 Luft- und Raumfahrttechnik der FH Aachen Assoziierte Partner: • EASA Köln • DLR, Stuttgart • Euro-NCAP und BAST - Prof. Seeck • Siemens Industry Software Netherlands BV • Accenture		
Hauptthema	Entwicklung einer Bewertungsplattform für Sicherheitsstandards von Passagierdrohnen		
Kurzbeschreibung	Das ATAP-Projekt hat sich der Entwicklung eines digitalen Bewertungssystems für die Insassensicherheit zukünftiger Lufttaxis gewidmet. Ziel war die Erstellung eines Bewertungsprogramms, das sowohl wissenschaftliche als auch gesellschaftliche Anforderungen an die Sicherheit dieser neuen Mobilitätsform erfüllt. Grundlage des Programms waren Daten und Erkenntnisse aus den Vorgängerprojekten SkyCab und CATS. Mit ATAP wurde ein Programm erarbeitet, das Transparenz in die Sicherheit von Lufttaxis bringt und damit die Akzeptanz der innovativen Luftmobilität fördert.		
Autoren	Lukas Laarmann, Thilo Röth, Hannes Fuhs		

Inhaltsverzeichnis

I.	Kurzdarstellung	3
I.1	Aufgabenstellung	3
I.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	3
I.3	Planung und Ablauf des Vorhabens.....	3
I.4	Stand der Wissenschaft und Technik.....	5
I.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	6
II.	Eingehende Darstellung	7
II.1	Verwendung der Zuwendung und Ergebnisse.....	7
II.2	Erläuterungen der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	15
II.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	15
II.4	Voraussichtlicher Nutzen & Verwertbarkeit des Ergebnisses	16
II.5	Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	17
II.6	Veröffentlichungen	18
III.	Quellen	20

I. Kurzdarstellung

I.1 Aufgabenstellung

Die steigende Überlastung der urbanen Verkehrsinfrastruktur erfordert innovative Mobilitätslösungen. Lufttaxis, die senkrecht starten und landen können (eVTOLs), bieten eine Möglichkeit, die Mobilität um die dritte Dimension zu erweitern. Während Konzepte und Prototypen bereits existieren, fehlen bisher klare Sicherheitsstandards und -bewertungsmethoden. Im Projekt ATAP wurde das Ziel verfolgt, diese Lücke zu schließen, indem eine digitale Bewertungsplattform inklusive Sicherheitskriterien entwickelt werden sollte.

Das Projekt basiert auf drei zentralen Zielen:

1. Entwicklung eines Bewertungssystems für die Insassensicherheit.
2. Erstellung und Validierung eines parametrischen Crashsimulation-Modells.
3. Öffentlichkeitswirksame Kommunikation und Steigerung der Akzeptanz von Lufttaxis.

I.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

ATAP basiert auf umfangreichen Vorarbeiten aus den Forschungsprojekten SkyCab I, SkyCab II und CATS (Crashworthiness Air Taxi Standards). Diese Projekte haben grundlegende Daten und Erkenntnisse zur Konzeption von Lufttaxis sowie zur Definition erster Sicherheitsstandards geliefert.

Das in SkyCab II entwickelte Fluggerät SkyCab-SC2 dient als beispielhafter Proband für das Projekt. Es bietet eine reale und umfassende Datengrundlage, einschließlich CAD- und Simulationsmodellen, die für die Entwicklung des Bewertungssystems genutzt werden. Ergänzt wird dies durch das Impact Crash Prediction Model (ICPM), das im CATS-Projekt entwickelt wurde, sowie ein parametrisches Madymo-Simulationsmodell zur Untersuchung von Crashszenarien.

Die Forschungsumgebung der FH Aachen mit ihrer langjährigen Erfahrung in der Entwicklung von Luft- und Raumfahrttechnologien sowie Crashesicherheit in der Automobilindustrie bildet das Fundament für die wissenschaftliche Exzellenz von ATAP. Ein weitreichendes Netzwerk von Partnern, darunter die EASA, das DLR und verschiedene industrielle Akteure, unterstützt das Projekt und ermöglicht eine breite Vernetzung.

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt ist in drei zentrale Arbeitspakete unterteilt, die aufeinander aufbauen und synergetisch auf die Entwicklung eines umfassenden Sicherheitsbewertungssystems für Lufttaxis hinarbeiten. Das Zusammenspiel der Arbeitspakete kann dem Gantt-Chart in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** entnommen werden. Das Projekt startet im September 2023 und endet nach 15-monatiger Projektlaufzeit im Dezember 2024.

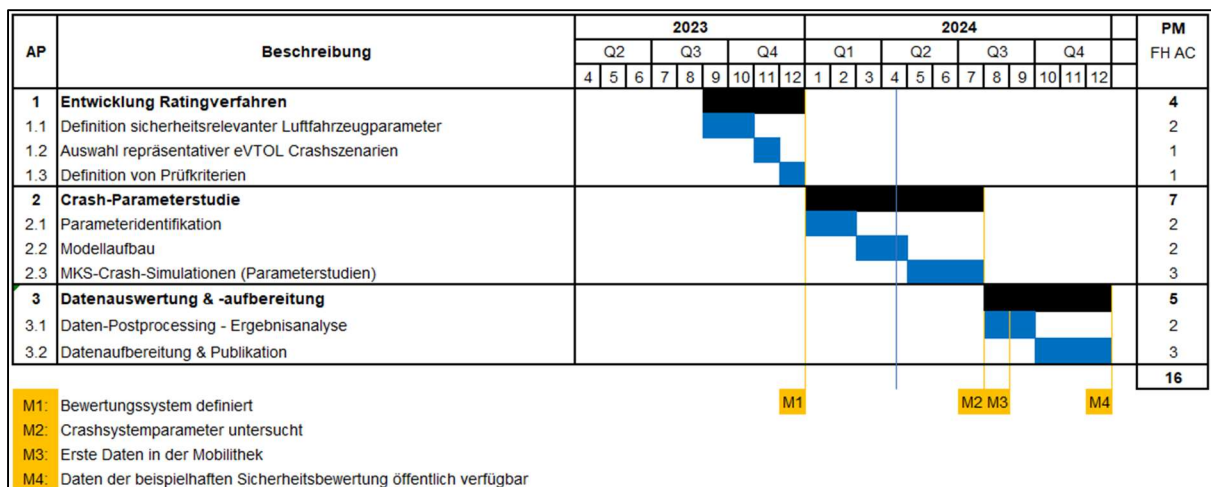


Abbildung 1: Gantt-Chart des Projektvorhabens ATAP

AP 1: Entwicklung des Bewertungsverfahrens:

Im ersten Arbeitspaket steht die Konzeption eines transparenten und wissenschaftlich fundierten Bewertungsverfahrens im Mittelpunkt. Auf Basis der bisherigen Erkenntnisse und der Methodik etablierter Systeme wie EuroNCAP werden Prüfkriterien und Bewertungsmaßstäbe für die Sicherheit von Lufttaxi erarbeitet. Ziel ist es, ein verständliches und standardisiertes Ratingverfahren zu entwickeln, das die Sicherheit von eVTOLs für verschiedene Zielgruppen – von Herstellern bis hin zur breiten Öffentlichkeit – zugänglich macht.

AP 2: Crash-Parameterstudie:

Das zweite Arbeitspaket befasst sich mit der detaillierten Untersuchung von Crashszenarien und den damit verbundenen biomechanischen Belastungen. Mittels modernster Simulationstechnologien, wie dem Madymo-Simulationsmodell und dem Impact Crash Prediction Model (ICPM), werden typische Absturzzustände von Lufttaxi analysiert. Dabei werden Parameter wie Aufprallgeschwindigkeit, -winkel und Insassenbelastung untersucht, um kritische Sicherheitsrisiken zu identifizieren und innovative Schutzmaßnahmen zu validieren.

AP 3: Datenauswertung und -aufbereitung:

Das abschließende Arbeitspaket umfasst die Zusammenführung und Aufbereitung der erhobenen Daten sowie deren Bereitstellung für die Öffentlichkeit. Ergebnisse aus den Simulationen und der Parameterstudie werden strukturiert und in einem digitalen Bewertungssystem zusammengeführt. Dieses wird auf offenen Plattformen wie der Mobilithek und FIDMove veröffentlicht, um eine breite Nachnutzung durch Lufttaxihersteller, Prüfororganisationen und andere Interessengruppen zu ermöglichen.

Mit diesen Arbeitspaketen deckt ATAP die gesamte Kette der Sicherheitsbewertung ab – von der Konzeption eines Bewertungsrahmens über die Analyse konkreter Crash-Szenarien bis hin zur Bereitstellung von Ergebnissen für Industrie und Öffentlichkeit.

I.4 Stand der Wissenschaft und Technik

Die Urban Air Mobility (UAM) befindet sich in einer dynamischen Entwicklungsphase, die durch technologische Fortschritte in der Elektromobilität und Luftfahrttechnik angetrieben wird. Elektrische Antriebe sowie leistungsfähige Energiespeichersysteme ermöglichen die Entwicklung innovativer Luftfahrzeugkonzepte, die lokal emissionsfrei betrieben werden und senkrecht starten und landen können. In den letzten zehn Jahren wurden zahlreiche Konzepte für elektrisch betriebene, vertikal startende und landende Fluggeräte (eVTOLs) vorgestellt. Einige dieser Konzepte haben bereits den Prototypenstatus erreicht und erste Demonstrationsflüge absolviert.

Trotz dieser Fortschritte fehlen bislang spezifische Sicherheitsstandards, die auf die einzigartigen Eigenschaften von eVTOLs abgestimmt sind. Regulierungsansätze wie die „Special Condition VTOL“ [1] der EASA und die Betriebskonzepte der FAA basieren auf bestehenden Regelwerken für konventionelle Luftfahrzeuge und bieten keine ausreichende Grundlage, um den besonderen Anforderungen von Lufttaxis gerecht zu werden. Insbesondere die Crashesicherheit stellt ein zentrales Forschungsthema dar, da bestehende Normen für Flugzeuge und Helikopter die Geometrie, Materialien und Einsatzszenarien von eVTOLs nicht berücksichtigen.

Bekannte Konstruktionen und Verfahren

ATAP baut auf den Erkenntnissen und Technologien der Vorgängerprojekte SkyCab I, SkyCab II und CATS auf. Die wesentlichen Konstruktionen und Werkzeuge umfassen:

SkyCab-SC2: Ein eVTOL-Prototyp, der umfassende CAD-Modelle, Simulationsdaten und Informationen zur funktionalen Auslegung bereitstellt.

Impact Crash Prediction Model (ICPM): Ein Simulationswerkzeug, das im CATS-Projekt entwickelt wurde, um Absturzbedingungen und deren Auswirkungen zu prognostizieren.

Madymo-Modell: Dieses parametrische Mehrkörpersimulationsmodell ermöglicht die Analyse biomechanischer Belastungen und wurde speziell für das SkyCab SC2 erstellt.

RADIOSS-FEM-Modell: Ein Finite-Elemente-Modell, das die Bewertung struktureller Sicherheitslösungen bei verschiedenen Crashszenarien erlaubt.

Fachliteratur und Informationsquellen

Die wissenschaftlichen Grundlagen des Projekts werden durch umfassende Literatur- und Datenquellen ergänzt, darunter:

Regulierungsrahmen: Die „Special Condition VTOL“ der EASA sowie FAA-Konzepte zur Betriebsgenehmigung von eVTOLs.

Der von der FAA entwickelte Crashworthiness Index (CI) zur Bewertung der Crashesicherheit von Helikopterdesigns und -technologien [3].

Die DLR-Studie vom 13. April 2021 zum Einfluss unterschiedlicher Fluggerätekfigurationen auf die eVTOL-Crashesicherheit [4].

Daten aus vorherigen Projekten: Ergebnisse der Projekte SkyCab I, SkyCab II und CATS, einschließlich CAD- und Simulationsdaten, sowie entwickelter Sicherheitsstandards.

Bewertungssysteme: Die Methodik des EuroNCAP-Programms für Kraftfahrzeuge dient als Inspirationsquelle für die Entwicklung eines vergleichbaren Sicherheitsbewertungsansatzes für Lufttaxi.

Öffentliche Datenplattformen: Der AAR Reality Index liefert eine Übersicht über aktuelle Lufttaxi-Projekte und deren Reifegrad.

Informations- und Dokumentationsdienste

Informationen werden aus dem Archiv der FH Aachen, der Bibliothek der FH Aachen und insbesondere aus vorangegangenen Projekten des Fachbereichs Luft- und Raumfahrt der FH Aachen entnommen. Darüber hinaus werden Onlinerecherchen durchgeführt. Wissenschaftsplattformen wie GoogleScholar, Web of Science, oder ResearchGate dienen ebenfalls als Informationsquellen.

Die Dokumentation erfolgt in Form eines schriftlichen Abschlussberichts welcher über die weltweit größte Fachbibliothek für Technik und Naturwissenschaften (TIB) veröffentlicht wird.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das ATAP-Projekt wird in enger Zusammenarbeit mit verschiedenen Partnern aus Wissenschaft und Industrie durchgeführt, um die Sicherheitsstandards für Lufttaxi zu entwickeln und zu validieren. Die wichtigsten Partner im Projekt sind:

Fachbereich Luft- und Raumfahrtstechnik der FH Aachen: Das Projekt wird hier koordiniert, wobei auf die Expertise der Labore für Luftfahrzeugtechnik und Automobiltechnik zurückgegriffen wird.

DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt: Das DLR trägt mit seiner Fachkompetenz in der Luftfahrtforschung, insbesondere bei der Analyse von Crashszenarien und der Entwicklung von Sicherheitsmethoden, zur wissenschaftlichen Grundlage des Projekts bei.

EASA – European Union Aviation Safety Agency: Die EASA ist ein wichtiger Partner, der sicherstellt, dass die entwickelten Sicherheitsstandards mit den europäischen luftfahrttechnischen Vorschriften übereinstimmen und zur Schaffung von Normen für die Zulassung von eVTOLs beitragen kann.

Zusätzlich wird das Projekt mit der **FAA** und weiteren relevanten Regulierungsbehörden abgestimmt, um die internationale Relevanz und Übertragbarkeit der entwickelten Sicherheitsstandards sicherzustellen.

II. Eingehende Darstellung

Nachfolgend werden die Zuwendungen sowie die Ergebnisse des Projektes dargestellt. Anschließend werden die größten Ausgabepositionen aufgeführt und deren Notwendigkeit erläutert. Darauf aufbauend stellt sich der Nutzen des Vorhabens dar. Abschließend wird der Fortschritt auf dem betrachteten Themengebiet bei anderen Stellen, insbesondere bei Unternehmen der einschlägigen Industrie sowie die geplanten und getätigten Veröffentlichungen diskutiert.

II.1 Verwendung der Zuwendung und Ergebnisse

Durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr wurden insgesamt finanzielle Mittel in Höhe von 162.429 € zur Durchführung dieses Forschungsprojektes bereitgestellt. Im Folgenden wird die Verwendung dieser Mittel und die hieraus resultierenden Ergebnisse beschrieben.

AP 1: Entwicklung Ratingverfahren

Das erste Arbeitspaket fokussierte sich auf die Entwicklung eines Bewertungssystems für die Sicherheitsstandards von Lufttaxi. Dabei wurden relevante Parameter definiert, repräsentative Crashszenarien ausgewählt und geeignete Prüfkriterien erarbeitet. Ergänzend wurde eine Benchmark-Analyse der führenden Air-Taxi-Hersteller gemäß AAM durchgeführt, um den aktuellen Entwicklungsstand der Technologie zu evaluieren und die Konstruktionsprinzipien sowie architektonischen Merkmale der Luftfahrzeuge umfassend zu analysieren.

AP 1.1: Definition sicherheitsrelevanter Luftfahrzeugparameter

In diesem Unterpunkt wurden die sicherheitsrelevanten Parameter für eVTOLs festgelegt. Diese umfassen strukturelle und mechanische Eigenschaften des Fluggeräts, die im Falle eines Absturzes maßgeblich die Insassensicherheit beeinflussen, sowie sicherheitsrelevante Funktionen. Die Definition dieser Parameter bildet die Grundlage für die gesamte Sicherheitsbewertung.

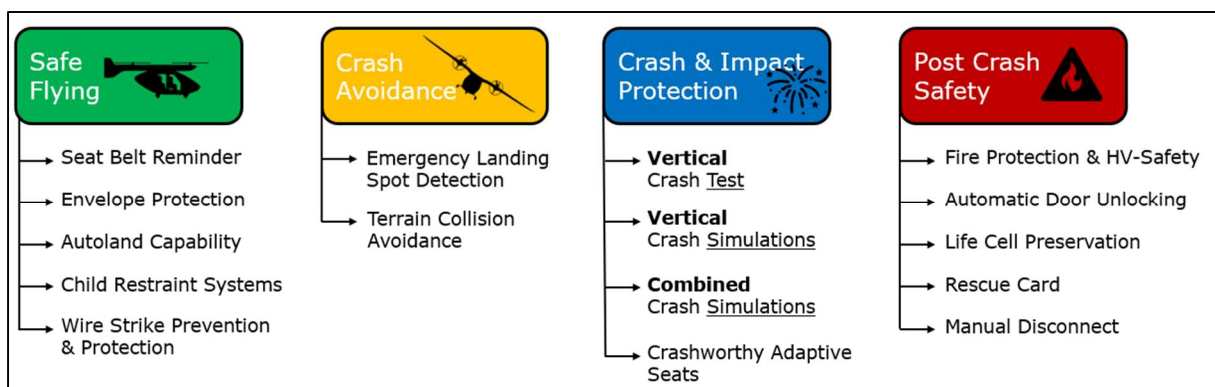


Abbildung 2: ATAP-Bewertungssystematik inklusive Prüfkategorien & Prüfparameter

Mittels Flugdynamiksimulationen und Unfalldatenauswertungen konnten Lufttaxispezifische Aufprallbedingungen identifiziert werden. Abbildung 3 zeigt beispielhaft die Analyse zweier Absturzzenarios und die entsprechenden Kontrollausgaben [5, 6] am Beispiel des Lufttaxis SkyCab-SC2.

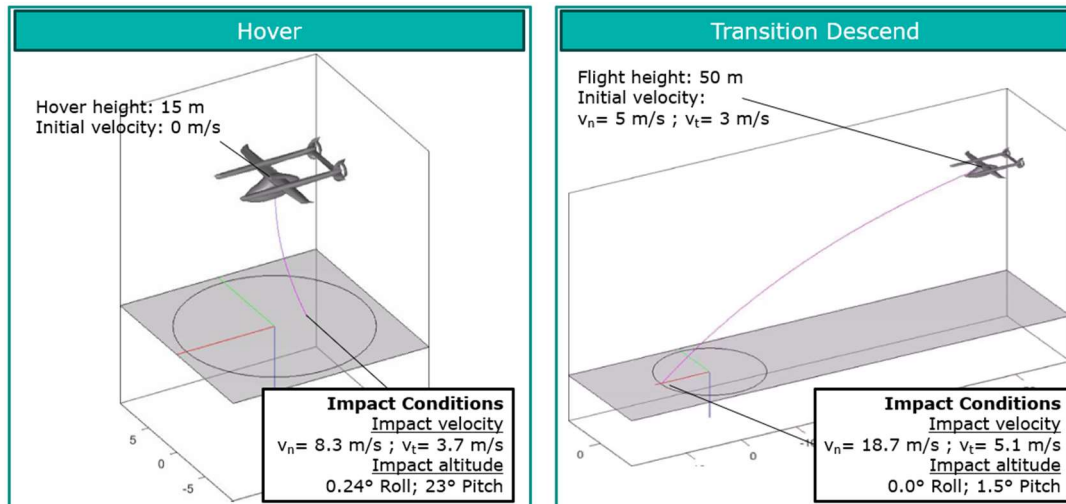


Abbildung 3: Flugdynamiksimulationen zur Identifikation zukünftiger eVTOL Aufprallzustände

AP 1.2: Auswahl repräsentativer eVTOL Crashszenarien

Es wurden mehrere repräsentative Crashszenarien entwickelt, die auf realistischen Flugbedingungen basieren, insbesondere auf den Phasen des Starts, der Transition und der Landung. Teil dieser Untersuchung waren ebenfalls die Berücksichtigung der Eintrittswahrscheinlichkeiten. Diese Szenarien helfen, die Insassensicherheit unter unterschiedlichen Bedingungen zu überprüfen und sicherzustellen, dass alle relevanten Absturzzenarios berücksichtigt werden.

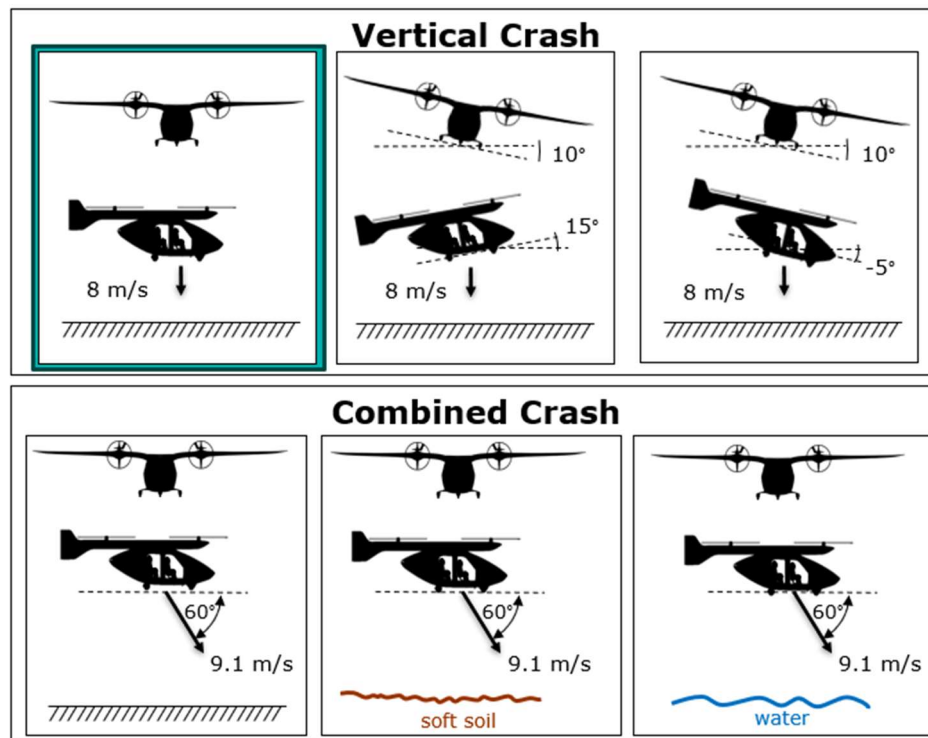


Abbildung 4: Die ATAP-Crashlastfälle für Lufttaxis

AP 1.3: Definition von Prüfkriterien

Die Prüfkriterien für die Sicherheitsbewertung wurden auf Grundlage biomechanischer Schutzkriterien entwickelt. Diese Kriterien basieren größtenteils auf Sicherheitsstandards aus der Automobilindustrie und wurden für Lufttaxis angepasst. Die Kriterien umfassen biomechanische Grenzwerte, die in den Crash-Tests und Simulationen angewendet werden.

	Injury Criterion	Parameter/ Abbreviation	50%til- male FAA HIII	5%til- female HIII	95%til- male HIII
Head	Head Injury Criterion	HIC15	Limit 1: 500 Limit 2: 700	Limit 1: 500 Limit 2: 700	Limit 1: 670
	Head Acceleration	a3ms (m/s ²)	Limit 1: 7,34 Limit 2: 8,15	Limit 1: 7,34 Limit 2: 8,15	-
Neck	Neck Injury Criterion	Nij	1,00	1,00	1,00
	Maximum Neck Load	Fzmax.compression (N)	4000	2250	4830
	Maximum Neck Shear	Fx.shear (N)	Limit 1: 1900 Limit 2: 3100	Limit 1: 1200 Limit 2: 1950	3740
	Maximum Neck Moment	Mymax (Nm)	Limit 1: 42,00 Limit 2: 57,00	Limit 1: 36,00 Limit 2: 49,00	-
Thorax	Shoulder Strap Load	SSL (N)	8896	-	-
	Chest Acceleration	a3ms (m/s ²)	6,12	6,12	5,50
	Chest Deflection	s (mm)	Limit 1: 22,00 Limit 2: 42,00	Limit 1: 18,00 Limit 2: 34,00	-
	Viscous Criteria	VC	Limit 1: 0,50 Limit 2: 1,00	Limit 1: 0,50 Limit 2: 1,00	-
Lumbar Spine	Lumbar Load	F _{LL} (N)	6674	4207	8686
	Dynamic Response Index	DRI	19,00	19,00	19,00

Abbildung 5: Biomechanische Grenzkriterien zur Beurteilung der Insassensicherheit

AP 2: Crash-Parameterstudie

Das zweite Arbeitspaket konzentrierte sich auf die Durchführung von Crashszenarien und die Untersuchung der Auswirkungen auf die Insassensicherheit. Ziel war es, die wesentlichen Parameter zu identifizieren und Simulationen zur Validierung der Sicherheitsstandards durchzuführen.

AP 2.1: Parameteridentifikation

In diesem Unterpunkt wurden die relevanten Parameter für die Crashszenarien definiert. Dazu gehören Aufprallgeschwindigkeit, -winkel und die dabei entstehenden mechanischen Belastungen. Diese Parameter sind entscheidend für die Berechnung der Insassensicherheit und spielen eine zentrale Rolle bei der Simulation der Crashszenarien.

Zur Durchführung der Test und zur Überprüfung der Funktionen und Anforderungen wurde in den vier Kategorien 20 spezifische Kriterien und Testprotokolle erstellt. Diese Protokolle definieren detaillierte Sicherheitsanforderungen für eVTOLs und sind die Grundlage für die Bewertung der Air Taxis. Sie wurden auf der Projektwebseite veröffentlicht und stehen dort allen Herstellern und Forschungseinrichtungen zum Download zur Verfügung. Zusätzlich wurde ein Fragebogen entwickelt, um die Meinungen der größten eVTOL-Hersteller zum ATAP-Programm zu sammeln.

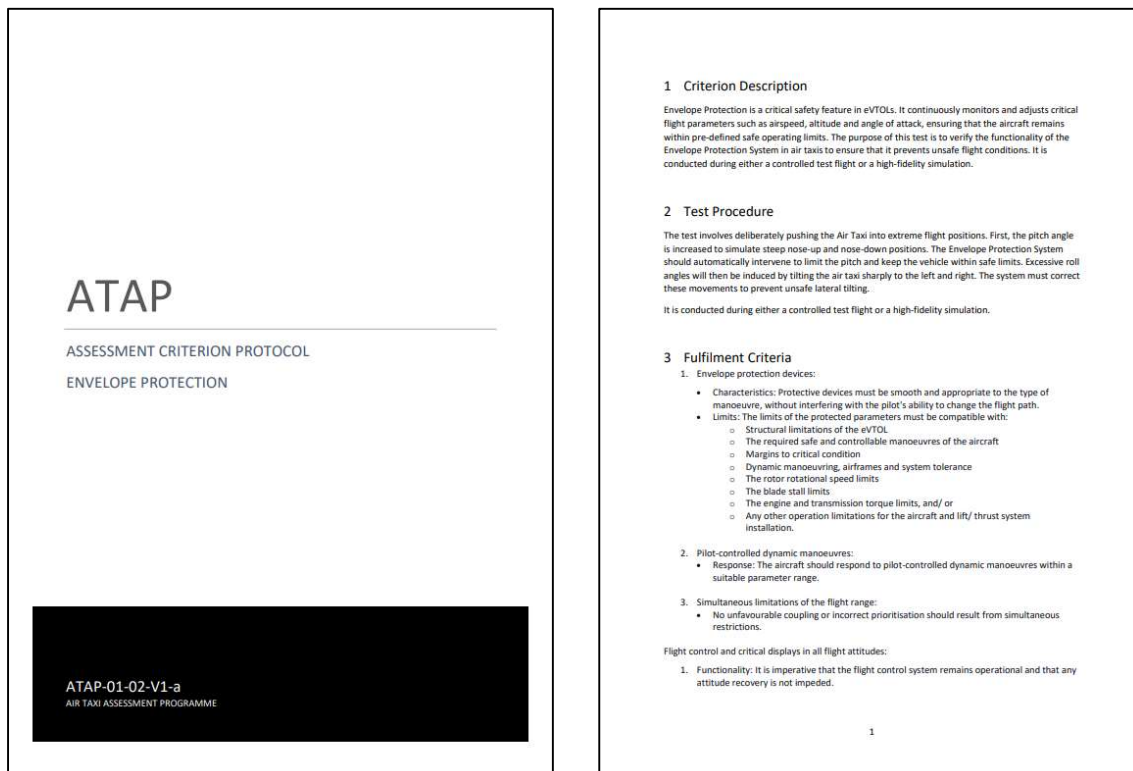


Abbildung 6: Beispiel ATAP Protokoll

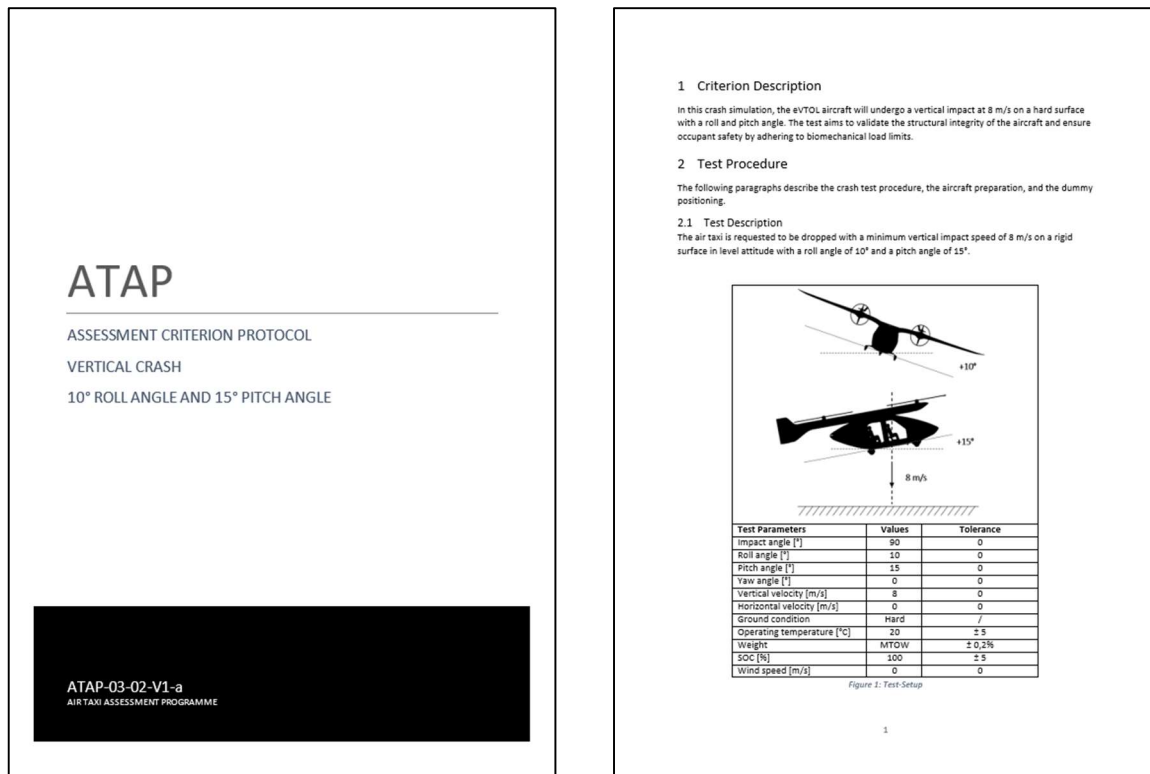


Abbildung 7: Beispiel ATAP Crash Protokoll

AP 2.2: Modelaufbau

Es wurde ein detailliertes Simulationsmodell erstellt, das auf den identifizierten Parametern basiert. Das Modell ermöglicht es, die Auswirkungen von Abstürzen auf die Insassen unter verschiedenen Bedingungen zu simulieren und die Sicherheitsmaßnahmen zu testen.

Ein ATAP Assessment Spreadsheet wurde entwickelt, um den Herstellern zu ermöglichen, ihre ersten Bewertungen gemäß den entwickelten Testprotokollen durchzuführen. In diesem Spreadsheet können die Hersteller angeben, welche der Testkriterien sie erfüllen und welche nicht. Zudem enthält das Spreadsheet einen Bereich zur Auswertung der Simulationen und Crash-Tests, der es den Herstellern ermöglicht, ihre Ergebnisse zu überprüfen und zu dokumentieren. Das Spreadsheet steht auf der Projektwebseite zum Download bereit.

Air Taxi Assessment Program

General Specifications
Please fill in all cells with a grey background

Company Name	
Model	
MTOW [kg]	
Vehicle Architecture	
Release Date	
Seat Arrangement (incl. Pilot)	
Number of Seats	

Your ATAP Safety Level

★ ★ ★ ★ ★

[How to get a 5-star assessment?](#)

[Rating Examples](#)

Overall Assessment

Safe Flying		Crash Avoidance		Crash & Impact Protection		Post Crash Safety		TOTAL			
Points	Max. Points	Points	Max. Points	Points	Max. Points	Points	Max. Points				
Seat Belt Reminder	0	2	Emergency Landing Spot Detection (ELSD)	0	2.5	Vertical Crash - VCB_r10_r10-hard	0	12	Fire Protection / HV Safety (Isolation)	0	4
Envelope Protection	0	2	Terrain Collision Prevention	0	2.5	Vertical Crash - VCB_r10_r15-hard	0	10	Automatic Door Unlocking (ADU)	0	2
Autoland Capability	0	2			Vertical Crash - VCB_r10_r15-5-hard	0	10	Exit-Opening Force	0	2	
Child Restraint System	0	2			Combined Crash - CC-1-hard	0	10	Life Cell Preservation + Emergency Exit	0	6	
Wire Strike Prevention & Protection	0	2			Combined Crash - CC-2-soft	0	10	Rescue Card	0	3	
					Combined Crash - CC-3-water	0	10	Manual Disconnect	0	3	
					Crashworthy Adaptive Seats	0	3				
Total Score	0		0		0		0		0 / 100		
Percentage	0.0%		0.0%		0.0%		0.0%				
Max. Points Available	10		5		65		20				

START THE ASSESSMENT -->

Introduction General Overview Safe Flying Crash Avoidance Vertical_Crash_TEST Vertical_Crash_SIMULATION Vertical_Crash_SIMULATION (2) Combined_Crash_hard Combined_Crash_soft Combined_C

Abbildung 8: ATAP-Spreadsheet Assessment Overview

In this **vertical crash simulation**, you have the opportunity to score up to 10 points. Please note that any unanswered sections will not impact the overall star rating.

Have you performed the VCB5-Roll10-Pitch-5 vertical crash test?
☐ Yes ☐ No

For more detailed information about the test, [click here](#).
To learn more about the biomechanical limit loads, [click here](#).

Vertical Crash Test VCB5-Roll10-Pitch-5	Front Left HIII FAA 50%		Rear Right HIII FAA 50%		Front Right HIII 95% male		Rear Left HIII 5% female	
	Value	Points	Value	Points	Value	Points	Value	Points
HEAD								
Head Injury Criterion Head Acceleration - m/s ²	HIC15 a3ms (m/s ²)							
Head assessment								
Neck								
Neck Injury Criterion Maximum Neck Load - N Maximum Neck Shear - N Maximum Neck Moment - Nm	Ni Fmax compression Fx shear Mymax							
Neck assessment								
HEAD and NECK assessment								
THORAX								
Shoulder Strap Load - N Chest Acceleration - m/s ² Chest Deflection - mm Viscous Criteria	SSL a3ms s VC							
Thorax assessment								
LUMBAR SPINE								
Lumbar Load - N Dynamic Response Index	F _L DRI							
Lumbar Spine assessment								
THORAX and LUMBAR SPINE assessment								
Summe								

Vertical Crash

Dummies:
Front Left HIII FAA 50%
Front Right HIII 95%
Rear Left HIII 5%
Rear Right HIII FAA 50%

Vertical_Crash_SIMULATION Vertical_Crash_SIMULATION (2) Combined_Crash_hard Combined_Crash_soft Combined_Crash_water Crash & Impact Protection

Abbildung 9: ATAP Spreadsheet Simulations Auswertung

AP 2.3: Crash-Simulationen (Parameterstudien)

Eine Reihe von Mehrkörpersimulationen (MKS) und FEM-Simulationen wurden durchgeführt, um die Auswirkungen unterschiedlicher Crashszenarien zu untersuchen. Die Simulationen halfen, Sicherheitslücken in der Konstruktion zu identifizieren und die effektivsten Schutzmaßnahmen zu bestimmen. Sie lieferten konkrete Daten zu den Belastungen der Insassen und deren Verletzungsrisiken.

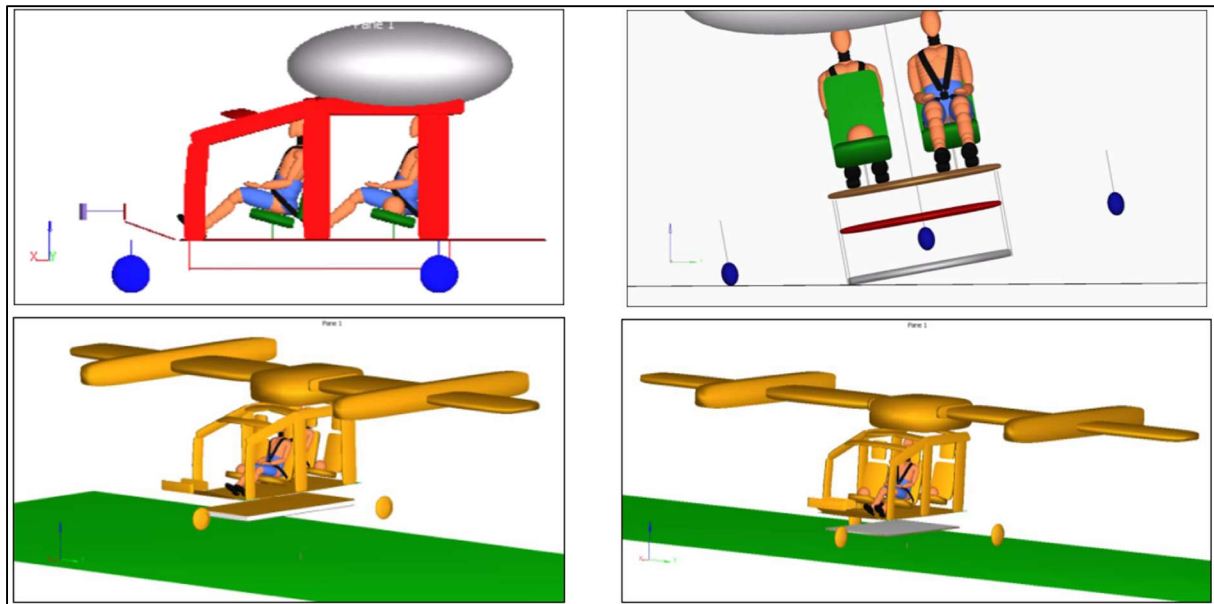


Abbildung 10: Multibody Dynamic Simulations

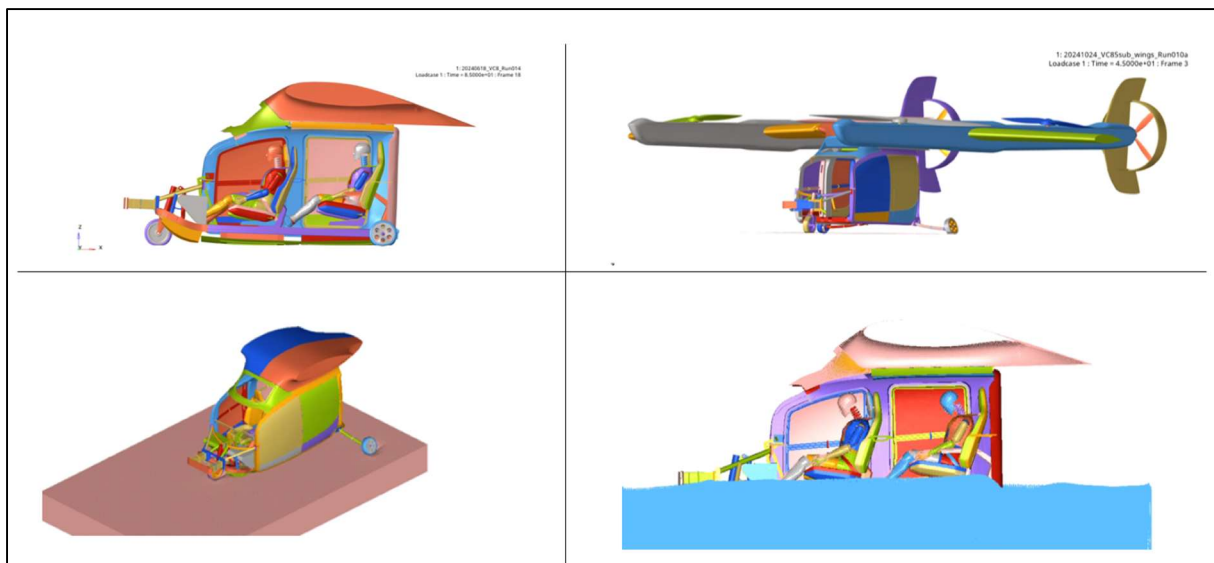


Abbildung 11: FEM Simulation

AP 3: Datenauswertung & -aufbereitung

Das dritte Arbeitspaket befasste sich mit der Auswertung und Aufbereitung der gewonnenen Simulationsdaten. Ziel war es, die Ergebnisse zu analysieren und eine transparente Darstellung der Sicherheitsstandards zu ermöglichen. Das Assessment-Programm wurde mit dem SkyCab durchlaufen (siehe Abbildung 12) und dabei wurden vier Sterne erreicht. Fünf Sterne

konnte das SkyCab nur nicht erreichen, da der reale Crashtest aus finanziellen Gründen noch nicht durchgeführt wurde.

Alle Informationen und Protokolle findet man auch auf der ATAP-Webseite: euro-atap.com.

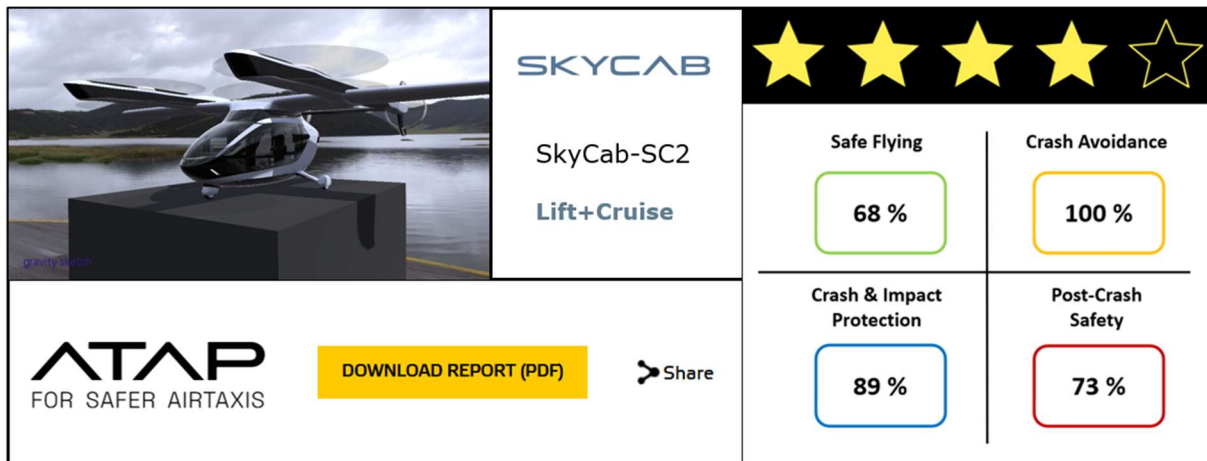


Abbildung 12: SkyCab Assessment

AP 3.1 Daten-Postprocessing – Ergebnisanalyse

Alle gesammelten Daten wurden strukturiert und aufbereitet. Eine detaillierte Analyse der Ergebnisse ermöglichte die Validierung der entwickelten Sicherheitsstandards und Prüfkriterien.

AP 3.2: Datenaufbereitung & Publikation

Die Daten aus den Simulationen und der Analyse wurden aufbereitet und in einer strukturierten Form veröffentlicht. Dies umfasst die Bereitstellung der Sicherheitsbewertungskriterien sowie der Resultate der Crashszenarien in öffentlich zugänglichen Datenbanken wie der Mobilithek und FIDmove. Diese Publikation stellt sicher, dass die entwickelten Sicherheitsstandards für die Luftfahrtindustrie, Forschungseinrichtungen und die breite Öffentlichkeit zugänglich sind und in zukünftige Entwicklungen integriert werden können.

Die Protokolle des Projekts wurden auf der ATAP-Webseite (euro-ATAP.com) veröffentlicht, die mehrere Bereiche umfasst:

Ein öffentlicher Bereich, in dem die Ratings der Fluggeräte und eine Erklärung des Rating-Systems zugänglich sind.

Ein Bereich für Ingenieure, in dem die Testprotokolle und das Spreadsheet heruntergeladen werden können sowie spezifische technische Informationen bereitgestellt werden.

Ein Bereich für das Konsortium, in dem die Assoziierte Partner des Projekts vorgestellt werden.

II.2 Erläuterungen der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Ein Großteil der Kosten wurde, wie geplant, für Personalkosten verausgabt. Die Personalkosten betrugen für die Projektlaufzeit 71 % der Gesamtkosten. Hierbei entfällt der Großteil auf wissenschaftliche Mitarbeiter: innen, sowie studentische und wissenschaftliche Hilfskräfte der FH Aachen.

18 % der Kosten wurden für die Unterbeauftragung der Simulationsumfänge verausgabt, während 9 % der Projektkosten für Dienstreisen verausgabt wurden, um das Programm bekannt zu machen und es aktiv an die eVTOL-Hersteller zu kommunizieren. Das restliche Budget wurde für Mieten und Dienstleistungen verausgabt.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die fortschreitende Entwicklung der Energiedichte von Batterien sowie technologische Innovationen in der Kommunikationstechnik und der Digitalisierung eröffnen neue Mobilitätskonzepte wie die Lufttaxis. Laut einer Prognose wird erwartet, dass im Jahr 2050 mehr als 160.000 dieser Fluggeräte Teil des Luftverkehrs sein werden [7].

Um die prognostizierte Verbreitung von eVTOLs zu unterstützen und gleichzeitig die notwendige Sicherheit zu gewährleisten, sind innovative Sicherheitsansätze erforderlich. Während sich die Luftfahrtindustrie bislang hauptsächlich auf aktive Sicherheitsmaßnahmen konzentrierte, die auf das Verhindern von Unfällen abzielen, hat die Automobilindustrie über Jahre hinweg bewiesen, dass auch die passive Sicherheit – insbesondere Maßnahmen zum Schutz der Insassen und zur Reduzierung von Unfallfolgen – entscheidend für die Sicherheit und die Akzeptanz von Transportmitteln ist.

Die derzeitigen Sicherheitsvorschriften für Luftfahrzeuge beinhalten allgemeine Empfehlungen und komponentenbasierte Anforderungen, wie zum Beispiel für Sitze oder Energiespeichersysteme. Doch für die neue Kategorie der eVTOLs müssen spezifische Sicherheitsanforderungen entwickelt werden. Diese Fluggeräte werden nur dann als tragfähiges Transportmittel akzeptiert, wenn sie im Vergleich zu herkömmlichen Verkehrsmitteln einen deutlichen Mehrwert bieten, insbesondere durch ein hohes Maß an Sicherheit. Daher ist es notwendig, frühzeitig spezifische Sicherheitsanforderungen für eVTOLs zu definieren, um deren erfolgreiche Markteinführung zu ermöglichen.

Das ATAP-Projekt hat mit der Untersuchung der Insassensicherheit von eVTOLs und der Entwicklung erster Sicherheitsansätze einen wichtigen Beitrag zur Fluggerätesicherheit geleistet. Die Forschung zur Sicherheit zukünftiger Flugtaxi-Nutzer: innen ist nicht nur aus moralischer Sicht unerlässlich, sondern auch von enormem wirtschaftlichem Potenzial. Dieses Potenzial kann jedoch nur dann vollständig ausgeschöpft werden, wenn die Sicherheit der Fluggeräte gewährleistet ist.

Derzeit existieren noch keine verbindlichen technischen Vorgaben zur Crashtauglichkeit von eVTOLs auf Gesamtfluggeräteebene. Es gibt keine konkreten Zulassungsvorschriften oder standardisierten Methoden. Die im ATAP-Projekt erarbeitete Herangehensweise, die identifizierten Crashszenarien sowie die daraus abgeleiteten Aufprallbedingungen stellen einen bedeutenden Beitrag zur Definition zukünftiger Sicherheitsstandards dar. Besonders hervorzuheben ist, dass durch die Anwendung digitaler Simulationen die technische Umsetzbarkeit und

Zielerfüllung quantifiziert und konkretisiert werden konnte. Dies liefert einen wichtigen Input für den Fortschritt in der Entwicklung von eVTOLs.

Daher ist die Förderung dieses innovativen Forschungsbereichs von großer Bedeutung, und die eingesetzten Mittel sind in vollem Umfang gerechtfertigt, insbesondere im Hinblick auf die geleisteten wissenschaftlichen Arbeiten.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen & Verwertbarkeit des Ergebnisses

Das ATAP-Projekt hat nicht nur zur Weiterentwicklung der Sicherheitsstandards für eVTOLs beigetragen, sondern auch nachhaltige wissenschaftliche und technische Ergebnisse geliefert, die einen erheblichen Nutzen für die Luftfahrtindustrie und die Gesellschaft haben. Die entwickelten Sicherheitsbewertungssysteme und die zugehörigen Testprotokolle stellen einen wesentlichen Beitrag zur sicheren Integration von Lufttaxis in die urbane Mobilität dar. Zudem wurden die CAD-Daten des SkyCab sowie die Simulationsdaten inklusive Metadaten auf den Plattformen Mobilithek und FIDMove veröffentlicht, um eine nahtlose Weiterverwendung und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

Wissenschaftlicher Nutzen

Ein bedeutender wissenschaftlicher Nutzen des Projekts ist die vertiefte Auseinandersetzung mit den spezifischen Sicherheitsanforderungen von eVTOLs und die Entwicklung von Bewertungsmethoden, die an die besonderen Gegebenheiten dieser neuen Luftfahrzeuge angepasst sind. Im Rahmen des ATAP-Projekts wurden wertvolle Forschungsarbeiten durchgeführt, die nicht nur in Fachzeitschriften veröffentlicht werden, sondern auch als Grundlage für zukünftige wissenschaftliche Studien und technische Entwicklungen dienen können. Besonders hervorzuheben ist, dass im Rahmen des Projekts eine Doktorarbeit und zwei Masterarbeiten abgeschlossen wurden, die wichtige Beiträge zur Weiterentwicklung der Lufttaxisicherheit leisten.

Technischer Nutzen

Die Entwicklung des Sicherheitsbewertungssystems und der zugehörigen Testprotokolle stellt einen wesentlichen Schritt in der Standardisierung der Sicherheitsanforderungen für eVTOLs dar. Die Ergebnisse des Projekts sind daher direkt auf die zukünftige Zulassung und Zertifizierung von Lufttaxis anwendbar. Die entwickelten Kriterien und das Bewertungsverfahren bieten eine transparente und standardisierte Grundlage, die für die Hersteller von eVTOLs, Zulassungsbehörden und Prüfinstitutionen von großer Bedeutung ist.

Darüber hinaus wurde die Projektwebseite als zentrale Informations- und Austauschplattform für die Luftfahrtindustrie etabliert. Sie ermöglicht es Herstellern, das entwickelte ATAP Assessment Spreadsheet zu nutzen, um ihre eigenen eVTOL-Modelle zu bewerten und mit den festgelegten Sicherheitsstandards abzugleichen. Dies fördert nicht nur die Akzeptanz der entwickelten Standards, sondern ermöglicht es der Industrie auch, die Sicherheitsleistung ihrer Fahrzeuge kontinuierlich zu verbessern.

Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Ergebnisse des Projekts bieten nicht nur einen hohen wissenschaftlichen und technischen Nutzen, sondern können auch wirtschaftlich verwertet werden. Durch die Veröffentlichung der Testprotokolle und des Assessment-Spreadsheets auf der Webseite wird der Zugang zu den

entwickelten Sicherheitskriterien für eine breite Nutzergruppe geöffnet, einschließlich eVTOL-Herstellern, Zulassungsbehörden, Ingenieurbüros und Forschungsinstituten.

- Die Testprotokolle und das Assessment Spreadsheet können von Herstellern genutzt werden, um die Sicherheit ihrer eVTOL-Modelle zu prüfen und zu verbessern. Dies fördert die Entwicklung sicherer, marktfähiger Lufttaxis und trägt zur beschleunigten Markteinführung von eVTOLs bei.
- Die wissenschaftlichen Arbeiten, die im Rahmen des Projekts abgeschlossen wurden, bieten eine fundierte Grundlage für zukünftige Forschungsprojekte und können durch ihre Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Zeitschriften und Konferenzen weiterverbreitet und genutzt werden.

Gesellschaftlicher Nutzen

Neben den technischen und wirtschaftlichen Vorteilen hat das ATAP-Projekt auch einen wesentlichen, gesellschaftlichen Nutzen, indem es zur Förderung der Akzeptanz von eVTOLs als sichere Mobilitätslösung beiträgt. Durch die Entwicklung transparenter und nachvollziehbarer Sicherheitsstandards wird das Vertrauen der Öffentlichkeit in diese neue Form der urbanen Luftmobilität gestärkt. Die Bereitstellung von Ergebnissen auf offenen Plattformen fördert die Transparenz und ermöglicht es der breiten Öffentlichkeit, sich über die Sicherheitsbewertungen von eVTOLs zu informieren. Die entwickelten Sicherheitsansätze kommen zukünftigen Benutzer: innen direkt durch erhöhte Schutzleistungen zu Gute.

II.5 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Das ATAP-Projekt hat bedeutende Fortschritte auf dem Gebiet der Sicherheitsbewertung von Lufttaxis erzielt. Neben den im Rahmen des Projekts entwickelten Sicherheitsstandards und Bewertungsverfahren tragen auch die Aktivitäten anderer Stellen zur Weiterentwicklung und Verbreitung dieses Forschungsgebiets bei. Diese Fortschritte ergänzen die im Projekt erzielten Ergebnisse und zeigen die Dynamik und Bedeutung der Sicherheitsforschung im Bereich Urban Air Mobility (UAM).

Forschungseinrichtungen

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR): Das DLR hat mit seinen Projekten im Bereich Urban Air Mobility wichtige Grundlagen für die Konzeption und Bewertung von eVTOLs gelegt. Insbesondere die Studien zur „Crashworthiness“ und die Entwicklung von Simulationsmodellen für Lufttaxis bieten wertvolle Synergien mit den im ATAP-Projekt entwickelten Bewertungsansätzen. Mit dem CITE – Center for Crash and Impact Testing hat das DLR bekannt gemacht im Zeitraum 2022-2027 ein neues Crashtestzentrum zu bauen. Das Crashtestzentrum liefert die ideale Ergänzung zum ATAP-Programm. So könnten die in ATAP entwickelten Crashtests zukünftig am CITE durchgeführt werden.

NASA Langley Research Center: Die NASA hat mit ihren Arbeiten zur „Crashworthiness of eVTOL Vehicles“ Pionierarbeit geleistet. Die Simulationen und Studien zur biomechanischen Belastung von Insassen in eVTOLs bieten eine wertvolle Grundlage für die Weiterentwicklung internationaler Sicherheitsstandards und dienen als Referenz für die im ATAP-Projekt entwickelten Methoden.

Normungs- und Regulierungsstellen

EASA (European Union Aviation Safety Agency): Die EASA arbeitet mit der „Special Condition VTOL“ an der Definition von Standards für die Zulassung von eVTOLs in Europa. Die im ATAP-Projekt entwickelten Testprotokolle und Bewertungsverfahren können direkt zur Weiterentwicklung dieser Vorschriften beitragen.

FAA (Federal Aviation Administration): Die FAA hat erste Betriebskonzepte für eVTOLs vorgestellt, die auf bestehenden Regularien für Flugzeuge und Helikopter basieren. Das ATAP-Projekt liefert durch seine spezifischen Sicherheitsstandards für Lufttaxis eine wertvolle Ergänzung zu diesen allgemeinen Regelwerken.

Industrie

eVTOL-Hersteller: Zahlreiche Hersteller arbeiten aktiv an der Entwicklung und Optimierung von eVTOL-Designs. Dabei spielen unter anderem Sicherheitskriterien eine zentrale Rolle. Die im ATAP-Projekt entwickelten Testprotokolle und das Assessment Spreadsheet bieten diesen Herstellern praktische Werkzeuge zur Optimierung ihrer Sicherheitskonzepte.

Während einige neue Hersteller das Feld betreten, scheiden andere Hersteller aus. Nach dem Hype-Zyklus nach Gartner befindet sich die Industrie aktuell in der Konsolidierungsphase.

Kooperationen und Netzwerke

Urban Air Mobility-Initiativen: Initiativen wie die EU-finanzierte UIC2 (UAM Initiative Cities Community) fördern den Austausch zwischen Städten, Forschungseinrichtungen und der Industrie zur Integration von Lufttaxis in städtische Mobilitätskonzepte.

Open Data und Plattformen: Durch die Bereitstellung der ATAP-Ergebnisse auf Plattformen wie der Mobilithek und FIDMove wird der internationale Austausch von Sicherheitsdaten gefördert. Dies ermöglicht anderen Forschungseinrichtungen und Unternehmen, auf die entwickelten Standards zuzugreifen und diese weiterzuentwickeln.

II.6 Veröffentlichungen

Im Rahmen des ATAP-Projekts wurden die Ergebnisse und das entwickelte Bewertungssystem auf mehreren renommierten Veranstaltungen vorgestellt. Diese Präsentationen trugen entscheidend zur Verbreitung der Projektergebnisse und zur Vernetzung mit relevanten Akteuren bei:

AAM Crashworthiness Community of Interest

Das ATAP-Programm wurde auf der AAM Crashworthiness Community of Interest vorgestellt, einer internationalen Plattform, die führende Expert:innen aus Wissenschaft, Industrie und Regulierungsbehörden im Bereich der Crashesicherheit für Advanced Air Mobility (AAM) zusammenbringt. Die Veranstaltung bot eine hervorragende Gelegenheit, die entwickelten Bewertungsansätze, Testprotokolle und Kriterien mit einer Fachgemeinschaft zu teilen, die sich intensiv mit den Herausforderungen und Lösungen im Bereich der eVTOL-Sicherheit auseinandersetzt.

Mehrwert: Austausch mit internationalen Expertinnen und Gewinn wertvoller Rückmeldungen, die zur Weiterentwicklung der Prüfkriterien beitragen.

Innovators Week im Start-Up Village Jülich

Während der Innovators Week wurde das ATAP-Programm im Rahmen eines Pitch-Wettbewerbs vorgestellt. Dieser Wettbewerb richtete sich an innovative Forschungsprojekte und förderte den interdisziplinären Austausch zwischen Wissenschaft, Start-ups und Industrie. Das ATAP-Projekt konnte auf dieser Veranstaltung den „Special Prize“ gewinnen, welcher mit 3.000 € dotiert ist. Die finanziellen Mittel wurden zur weiteren Verbreitung der Projektergebnisse verwendet.

Mehrwert: Stärkung der Sichtbarkeit des Projekts und Aufbau von Kontakten.

Air Taxi World Congress

Der **Air Taxi World Congress** ist eines der bedeutendsten Branchentreffen im Bereich Urban Air Mobility (UAM). Dort präsentierte das ATAP-Projekt seine Sicherheitsstandards und Testprotokolle einer Vielzahl führender eVTOL-Hersteller. Die Veranstaltung bot die Möglichkeit, das Programm persönlich vorzustellen und in den direkten Dialog mit Herstellern zu treten.

Mehrwert: Vorstellung des Projektes gegenüber führenden eVTOL-Herstellern und Gewinn wertvoller Rückmeldungen. Persönliche Kontaktaufnahme.



Abbildung 13: Impressionen vom Air Taxi World Congress

III. Quellen

- [1] EASA, *SC-VTOL-01 Issue 1: Special Condition for small-category VTOL aircraft*, 2019. Zugriff am: 31. März 2022.
- [2] J. Pellettiere, J. Crocco und K. E. Jackson. "Rotorcraft Full Spectrum Crashworthiness and Occupant Injury Requirements." Zugriff am: 10. Juni 2020.
- [3] US Department of Transportation - Federal Aviation Administration (FAA), *Analysis of Rotorcraft Crash Dynamics for Development of Improved Crashworthiness Design Criteria: DOT/FAA/CT-85/11*, 1985. Zugriff am: 17. Februar 2021.
- [4] P. Schatrow und M. Waimer, "Crash concept for composite transport aircraft using mainly tensile and compressive absorption mechanisms," *CEAS Aeronaut J*, Jg. 7, Nr. 3, S. 471–482, 2016, doi: 10.1007/s13272-016-0203-6.
- [5] F. Schweighofer, C. Huenteler und F. Holzapfel, "Project Report and Documentation - Impact Condition Prediction for eVTOL,"
- [6] F. Schweighofer und Huenteler, Carlos Holzapfel, Florian, "SkyCab Impact Prediction Model (Presentation)," Technische Universität München, 2023.
- [7] H. Lipowsky, E. Godard, M. Hader und D. Gautier. "Urban Air Mobility: The rise of new mode transportation."