

## **Lufthansa Technik AG**

Schlussbericht FKZ 20X1903A:

„Entwicklung und Validierung einer hersteller- und betreiberunabhängigen Datenplattform als Grundlage für MRO-Services für Drohnen und Flugtaxis“ (MEGA2)

Ein Forschungsvorhaben im Rahmen des 6. nationalen zivilen Luftfahrtforschungsprogramms

Projektlaufzeit: 01.07.2020 bis 30.06.2022

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz unter dem Förderkennzeichen 20X1903A gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

## Inhalt

<b>I. Kurzdarstellung .....</b>	<b>2</b>
I.1 Aufgabenstellung .....	2
I.2 Voraussetzungen, unter denen das Projekt durchgeführt wurde .....	2
I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens.....	3
I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand vor dem Projekt.....	3
I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	7
<b>II. Eingehende Darstellung .....</b>	<b>8</b>
II.1 Zielsetzung und erzielte Ergebnisse .....	8
II.2 Erläuterung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises .....	12
II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit .....	12
II.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses .....	12
II.5 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	12
II.6 Veröffentlichungen und Vorträge.....	13

## Abkürzungen

BMWK Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

EASA Europäische Agentur für Flugsicherheit

HAP Hauptarbeitspaket

IP Intellectual Property

KI Künstliche Intelligenz

MRO Maintenance, Repair & Overhaul

OEM Original Equipment Manufacturer

PAV Personal Aerial Vehicles

UAS Unbemannte Flugobjekte

UAV Unbemanntes Luftfahrzeug

## I. Kurzdarstellung

### I.1 Aufgabenstellung

Ziel des Projektes war der Aufbau eines Demonstrators einer hersteller- und betreiberunabhängigen Datenplattform für MRO (Maintenance, Repair, Overhaul) und die Erforschung von Möglichkeiten der Datenverarbeitung und von Prädikatoren-Modellen am Anwendungsbeispiel der unbemannten Luftfahrt.

Ziel von MEGA2 war das Legen der Grundlagen für einen veritabel digitalen MRO. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und Lufthansa Technik (LHT) wollten ihre Expertise auf dem Gebiet von MRO-Prozessen und die bisherigen Erfahrungen aus der bemannten Luftfahrt zu digitalen Systemen und Plattformen bündeln und eine digitale Plattformlösung schaffen, die autonome Systeme (Drohnen als auch PAV „Personal Aerial Vehicles“) in Zukunft unterstützt. Es sollten Voraussetzungen und Best Practices für MRO-Lösungen für Drohnen geschaffen werden, um bei autonomen Einsätzen die Effizienz und Zuverlässigkeit zu steigern. Angestrebt wurde die Demonstration einer hersteller- und betreiberunabhängigen Datenplattform für MRO-Services für Drohnen (und Flugtaxis), die sich für die Verarbeitung und Auswertung der Daten (fast) aller gängigen Drohnenmodelle und -typen eignet und daher universell nutzbar ist. Die Datenplattform sollte eine vollständige digitale Abbildung von Dronendaten (sowohl Messdaten aus Flügen als auch Informationen zu Komponenten und Maintenance-Dokumentationen) ermöglichen. Auf der Plattform sollten vom DLR entwickelte Prädiktoren für die Zustandsdiagnose der Drohne getestet werden. Zudem sollte sie in der Testumgebung zusammen mit mindesten einem Drohnenhersteller bzw. Drohnenbetreiber validiert werden, um die Praxistauglichkeit sicher zu stellen. Im Ergebnis sollte wird für die unbemannte Luftfahrt der direkte Eintritt in die digitale MRO ermöglicht werden, welche als eine grundlegende Anforderung für den wirtschaftlichen Betrieb gilt. Simultan sollten Innovationen generiert werden, die auf die bemannte Luftfahrt übertragen werden können.

### I.2 Voraussetzungen, unter denen das Projekt durchgeführt wurde

Die Initiative zum vorliegenden Konzept entstand in einer Zeit, in der eine zunehmende Zahl an Herstellern und potentiellen Betreibern von elektrischen Kleinflugzeugen gegründet wurde, große Menge an Kapital akquirieren konnte und konkrete Produkt- und Markteintrittsplanungen präsentierte. In diesem dynamischen Umfeld hatten Lufthansa Technik und DLR beschlossen, die jeweiligen Kompetenzen zur Entwicklung der Datenplattform zu bündeln.

Dabei bestand die Aussicht, von der großen bisherigen Expertise im Bereich der bemannten Luftfahrt zu profitieren, während gleichzeitig grundlegende Neuerungen hinsichtlich Fluggerät wie auch Betreibermodellen erwartet wurden.

## I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Im Zuge der Projektplanung wurden gemeinsam mit dem Partner DLR vier Hauptarbeitspakete definiert. Die HAP und untergeordnete Arbeitspakete sind dem Strukturplan zu entnehmen:

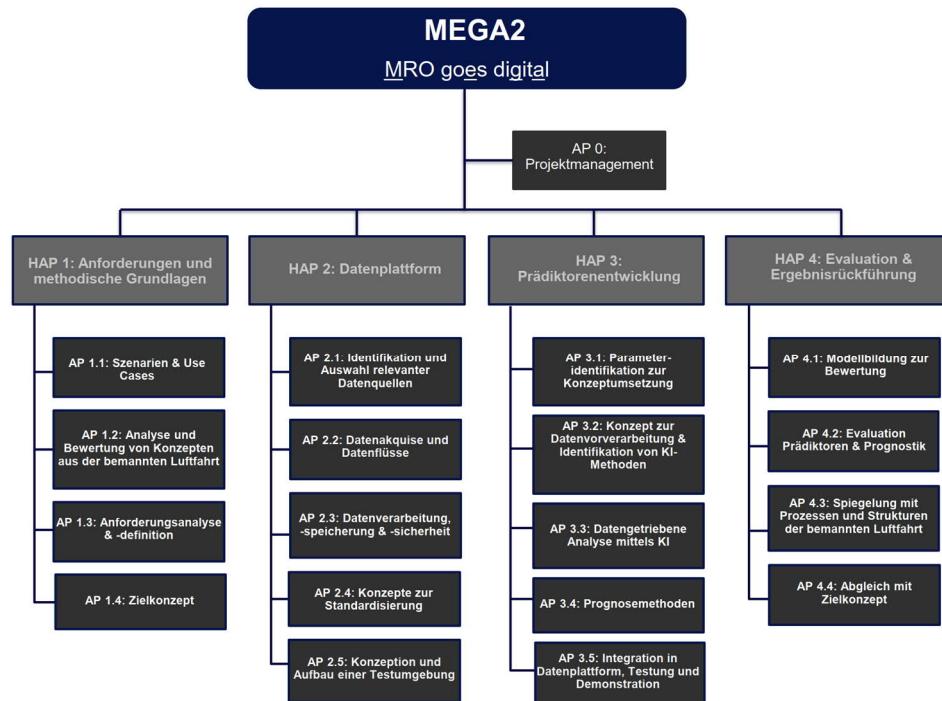


Abbildung 1: Projektstrukturplan MEGA2. Jedes HAP ist einem der Partner als HAP-Leitung zugeordnet, die AP bearbeiteten die Partner einzeln oder gemeinsam.

Das Vorhaben wurde nicht gemäß Plan bearbeitet. Neben großen Herausforderungen bei der Gewinnung von zielführenden Herstellerinformationen und Betriebsdaten erforderte auch die Entwicklung des Marktes, die die anfängliche Dynamik nicht halten konnte, eine Anpassung des dem Vorhaben zugrundeliegenden Verwertungsplans.

In Abstimmung mit dem BMWK wurde beschlossen, dass die veränderten Rahmenbedingungen den technischen und wirtschaftlichen Erfolg des Teilvorhabens der LHT signifikant in Frage gestellt haben. Mit Teilwiderruf durch das BMWK wurde das Vorhaben beendet.

## I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand vor dem Projekt

Ein unbemanntes Luftfahrzeug (UAV), gemeinhin als Drohne bezeichnet, ist ein Flugzeug ohne menschlichen Piloten an Bord, das verschiedene Autonomiegrade für den Flugbetrieb ermöglicht: entweder ferngesteuert durch einen menschlichen Bediener oder autonom durch Bordcomputer.

Drohnen werden aktuell in vielen zivilen und militärischen Bereichen zur Unterstützung des Menschen eingesetzt. Diese erfüllen, soweit es rechtlich möglich ist, zunehmend kleinere Aufgabenbereiche eigenständig. Drohnen werden heutzutage bereits in vielen

Anwendungsbereichen, wie für Film- und Fotoaufnahmen sowie für Inspektionen und zur Unterstützung der Seenot- und Bergrettung eingesetzt.

Nicht nur in der Distributionslogistik, sondern auch in der Agrarwirtschaft, Energiewirtschaft, Bauwirtschaft oder im Verkehrsmanagement werden Drohnen bereits verwendet. Obwohl die Flugobjekte zurzeit noch hauptsächlich als Kameras und Transportmittel genutzt werden, sind die Einsatzmöglichkeiten von Drohnen dementsprechend sehr vielfältig und versprechen ein hohes Potential hinsichtlich ihrer Anpassungsfähigkeit. Laut dem Verband Unbemannte Luftfahrt werden die meisten industriell genutzten Drohnen momentan in den Bereichen Vermessung, Inspektion, Kameraaufnahmen und Kartierung genutzt. Zukünftig werden mit Konzepten wie Lufttaxis weitere Einsatzbereiche erprobt.

Sowohl die Größe als auch die Anwendungsfelder von unbemannten Flugobjekten (UAS) variieren je nach Verwendungszweck stark. Im Allgemeinen wird als Oberkategorie zwischen zivilen und militärischen Drohnen unterschieden.

Im Vergleich zur bemannten, kommerziellen Luftfahrt sind vor allem im Segment der Drohnen (hier Definition „Lieferdrohne“/„Kameradrohne“) die derzeitigen Investitionskosten, sowohl für Infrastruktur (z.B. Landeplattformen, Ground Control Stations für die Steuerung und Überwachung) als auch für das Fluggerät verschwindend gering. Es wird erwartet, dass eine wachsende Professionalisierung von Anbietern und Steigerung der Komplexität von Missionen in den folgenden Jahren zunimmt und Regulatoren und Kunden steigende Anforderungen und höhere Zuverlässigkeit einfordern. Basierend auf dieser Annahme ist auch zu erwarten, dass Bedarfe an ganzheitlichen Monitoringkonzepten als auch Datenanalysen steigen.

Dieser Umstand, dass unzertifizierte und somit vergleichsweise kostengünstige Bauteile oder Baugruppen in Drohnen eingesetzt werden können, stellt einen wichtigen Aspekt für die Grundlagen einer digitalen MRO-Plattform bereit. Es waren also im Verlauf des Projektes die Anforderungen aus Sicht der Drohnenindustrie zu erarbeiten und Grundlagen für aufkommende MRO-Prozesse zu bilden.

#### Regulation von Drohnen

Es ist zudem zu beachten, dass die Nutzung von Drohnen durch nationale und europäische Gesetze eingeschränkt ist. Die deutsche „Drohnen-Verordnung“, welche im April 2017 eingeführt wurde, schreibt beispielsweise vor, dass bei privatem Gebrauch Drohnen mit über 2kg Gewicht ausschließlich mit einem Dronenführerschein zu steuern sind. Drohnen mit über 5kg Gewicht setzen außerdem eine zusätzliche Genehmigung seitens der Landesluftfahrtbehörde voraus. Des Weiteren beinhaltet das Gesetz Vorschriften in Hinblick auf Flug- bzw. Betriebsverbote. Z.B. ist der Betrieb von UASs mit über 25kg Gewicht als auch der Betrieb in „sensiblen Bereichen“ wie Krankenhäusern oder Menschenansammlungen verboten.

Etwa ein Jahr vor Projektbeginn hat die Europäische Kommission die Durchführungsverordnung 2019 / 947 beschlossen, deren Umsetzung in nationales Recht der Bundestag während des Projekts vorgenommen hat. Eine der Änderungen ist beispielsweise die Anhebung der maximalen Flughöhe von 100 m auf 120 m über Grund, die Einführung neuer Gewichtsgrenzen oder die Klassifizierung von Dronentypen. Diese neuen Kategorien sind wie folgt definiert:

1. „Open“  
Drohnen dieser Kategorie unterliegen einem geringen Betriebsrisiko, da sie die grundsätzlichen Regeln einhalten (z.B. maximale Flughöhe gleich 120 m, Flug nur in Sichtweite). Demnach ist für sie zwar keine Genehmigung notwendig, gegebenenfalls jedoch ein Dronenführerschein.
2. „Specific“  
Drohnen dieser Kategorie weisen ein erhöhtes Betriebsrisiko auf, da sie eine/mehrere Vorgaben der Kategorie „Open“ überschreiten (z.B. Fliegen außerhalb der Sichtweise). Der Betreiber muss für den Betrieb daher eine Risikobewertung durchführen und eine Ausnahmegenehmigung erlangen.
3. „Certified“  
In dieser Klasse sind Drohnen mit einem komplexen Betriebsrisiko eingeteilt. Dementsprechend muss für den Betreiber, den Piloten und das UAS selbst eine Zertifizierung eingeholt werden, welche mit einem hohen Aufwand in Verbindung steht.

### Flugtaxis

Anders als Lieferdrohnen, die bereits heute in großer Zahl im Einsatz sind und bereits Zulassungen erhalten können, sind Flugtaxis zum aktuellen Zeitpunkt weder zugelassen worden, noch sind regelmäßige Flüge mit ihnen, über Tests mit Prototypen hinaus, durchgeführt worden. Eine flugrechtliche Zulassung für Flugtaxis in Europa ist mit dem von der EASA 2022 vorgestellten Rechtsrahmen möglich. Zunächst werden Zulassungen für kleinere Flugtaxis anvisiert, die maximal 2-4 Personen transportieren können und von einem Piloten gesteuert werden. Insbesondere größere Flugtaxis und autonom fliegende Flugtaxis sind technisch noch weiter von einer Zulassung und regelmäßigen Einsetzbarkeit entfernt.

Für alle Prototypen und Entwicklungen von Flugtaxis gilt bisher, dass diese elektrisch betrieben werden und dass zunächst nur Flüge mit Piloten und erst ab dem Jahr 2025 unbemannte (mit Blick auf den Piloten) Flüge durchgeführt werden sollen. Geflogen wird stets mittels mehrerer Rotoren (aktuelle Prototypen haben zwischen 4 und 32 Rotoren), die sich üblicherweise oben am Flugtaxi befinden. Dementsprechend sind alle bisher relevanten Prototypen für Flugtaxis auch Senkrechtstarter. Flugtaxis sind zum heutigen Zeitpunkt nur für große Metropolen (z.B. Singapur und Dubai sind hier Vorreiter) oder Orte mit temporär auftretenden Menschenmassen angedacht (hier ist in Deutschland insbesondere der Flughafenbetreiber „Fraport“ zu nennen). Die benötigte

Infrastruktur für Flugtaxis erinnert dabei allerdings stets eher einem Haltestellen-System, denn frei verkehrende Taxen, wie die bekannten Taxen im Straßenverkehr, sind zunächst nicht geplant. Es werden vielmehr Systeme entwickelt, die verschiedene Ports bzw. Hubs in Städten vorsehen, von denen aus entweder spezielle Knotenpunkte oder andere Ports bzw. Hubs angeflogen werden können. An diesen Ports wird auch die notwendige Ladeinfrastruktur angeschlossen sein.

#### MRO-Services von Drohnen

Mit Blick auf MRO-Prozesse lässt sich festhalten, dass es zum aktuellen Zeitpunkt lediglich Maintenance Prozesse gibt. Aufgrund des modularen Aufbaus und der vergleichsweise geringen Preise werden Komponenten aktuell weder überholt noch repariert, sondern ausschließlich verschrottet. Von etablierten MRO-Prozessen kann somit zum Stand der Technik vor wie nach dem Projekt noch nicht gesprochen werden. Im Rahmen der geplanten FuE-Arbeiten sollte genauer erläutert werden, welche MRO-Prozesse für welche Drohnenarten in Zukunft zielführend sind. Daraus ergeben sich zudem Anschlussfragen, wie z.B. die Ausrichtung des Workscopes dahingehend, wer die Reparaturen durchführt. Auch eine regulatorische Organisation der Maintenance Prozesse für UAVs steht noch weitestgehend aus (insbesondere für Lieferdrohnen).

#### (MRO)-Plattformlösungen für Drohnen:

Der Stand der Technik für UAVs und Software- bzw. Plattformlösungen in diesem Umfeld ist aktuell einerseits von einer hohen Dynamik und Innovationskraft und andererseits von einer massiven Unterversorgung an Standards, Dokumentationspflichten und Anforderungen insbesondere an die Qualität von Informationen und Daten geprägt. Es gibt bereits verschiedene Plattform- und Softwareangebote auf diesem Gebiet, die in unterschiedlichen Sektoren und Branchen sowie für sehr unterschiedliche Zwecke genutzt werden. Diesen haften jedoch jeweils in unterschiedlicher Ausprägung und Intensität die zuvor beschriebenen Mängel an.

UAV Plattformen mit einer Fokussierung auf Maintenance Prozesse weisen in erster Linie drei signifikante Unterversorgungen an Informationen auf. Zunächst ist hier die fehlende bzw. stark unzureichende Standardisierung der Dokumentation zu nennen. So gibt es zum Beispiel keine Übersicht an installierten Komponenten während eines Fluges, eine Auflistung und Auswertung eingesetzter Sensorik oder ein standardisiertes Monitoring von Flügen mit UAVs. In der Industrie und unter Betreibern gibt es nach wie vor keine standardisierten Reporting Systeme oder Reports der einzelnen UAVs. Daran anknüpfend lässt sich ein Mangel an historischen Flugdaten und einer gesicherten Information über die Zahl der Flugstunden feststellen. Darüber hinaus gibt es einen deutlichen Mangel an Identifikationsmöglichkeiten für UAV und deren einzelnen Komponenten; dies gilt auch für den Bereich der Zustandsdaten und des Status eines UAVs. So fehlt es an Crash-Logs und Datensätzen, die defekte Komponenten ausweisen. Auch eine Übersicht historischer Failure-Modes bzw. des gesamten Lebenszyklus' aus Maintenance Sicht gibt es nicht. Des Weiteren gibt es Bedarf an robusten Daten, die eine Sensorik verlangen (wie z.B. der Ladezustand der Akkus).

**Bekannte Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden**

Das Vorhaben setzte auf die Erfahrung der LHT im Bereich der Datenplattformen für die bemannte kommerzielle Luftfahrt auf. Die LHT bündelt viele ihrer Digitalisierungs- und Datenplattformaktivitäten im Digitalprodukt AVIATAR. Während eine Integration der Vorhabenergebnisse in AVIATAR nicht Teil des Vorhabens war, stellte diese Plattform eine Referenz für die technische Implementierung dar.

**I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Die Lufthansa Technik AG hat im Konsortium die Rolle des Verbundführers übernommen. LHT und DLR haben jeweils ein eigenes Teilvorhaben mit inhaltlicher Verzahnung bearbeitet. Inhaltlicher Austausch bestand auf der Seite der LHT innerhalb der Lufthansa Group, um von den verschiedenen Blickwinkeln im Konzern zu profitieren und insbesondere auch die Verwertungsperspektive kritisch zu hinterfragen.

F&E-Unteraufträge wurden von der LHT nicht vergeben.

## II. Eingehende Darstellung

### II.1 Zielsetzung und erzielte Ergebnisse

Im reduzierten Umfang des Vorhabens hat die Lufthansa Technik nur in den HAP 1 und 2 relevante Ergebnisse erzielt. In dieser Phase wurden die methodischen Grundlagen evaluiert und Konzepte für die Datenplattform untersucht.

Die wesentlichen Ergebnisse sind:

- Die Gewinnung relevanter Informationen auch aus unstrukturierten und unvollständigen Datenquellen kann mit KI-Werkzeugen wertvolle Informationen liefern.
- Die Implementation einer Datenplattform unterliegt Rahmenbedingungen, die sich teilweise einander entgegenstehen. Eine leistungsfähige Implementation kann die Anforderungen an die Datenplattform erfüllen

#### HAP 1 Anforderungen und methodische Grundlagen

Bereits im frühen Projektverlauf hat die Arbeit an MEGA2 in den initialen Arbeitspaketen wesentliche Erkenntnisse ergeben, die den weiteren Projektverlauf in erheblichem Maße beeinflusst haben. In AP 1.1 wurde die Analyse und Definition relevanter Use Cases für eine betreiberunabhängige MRO-Datenplattform unternommen, pandemiebedingt entgegen der ursprünglichen Planung jedoch ohne die angedachten Workshops sowie Tagungen in den USA. Stattdessen wurden interne Experten der Lufthansa Group identifiziert, die bei der Szenarienfindung unterstützten. Als Beispiel hervorzuheben ist die Lufthansa Industry Solutions, die gemeinsam mit einem UAV-Entwickler an deren Produkten arbeitet sowie im Bereich der Wartung von Windenergieanlagen eigene Drohnenprodukte entwickelt. Im Kern ergeben sich zwei wesentliche Szenarien für UAVs: Analog zum heutigen Luftverkehr ist von intensiver Nutzung für den Personentransport sowie für den Transport dringlicher Waren auszugehen. In beiden Fällen erfordert die notwendige Nutzlast den Einsatz komplexer Systeme mit entsprechenden Anforderungen an eine luftfahrtrechtliche Einordnung, technische Standardisierung, Datenübermittlung und planmäßige MRO-Aktivitäten.

Als drittes Großszenario ist darüber hinaus der Einsatz von UAVs zu Zwecken der Überwachung zu nennen (z.B. Überwachung technischer Anlagen und Infrastrukturen, polizeiliche Überwachungsaufgaben), wobei in diesem Szenario ein fließender Übergang in militärische Anwendungen enthalten ist. Komplexitätssteigernd ist in diesem Szenario zudem die Tatsache, dass die eingesetzten UAV Systeme sich erheblich in technischem Umfang (z.B. kombinierte Systeme) und Größe unterscheiden können und dementsprechend sehr heterogene Anforderungen bzgl. einer MRO-Datenplattform haben könnten. Es wurden eine Vielzahl weiterer Szenarien identifiziert und dokumentiert, die jedoch allesamt einen kleineren Umfang versprechen.

Im Rahmen des Arbeitspakets 1.2 zur Analyse und Bewertung von Konzepten aus der bemannten Luftfahrt wurden bestehende Prädiktoren für die bemannte Luftfahrt identifiziert und hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf UAVs untersucht. In großem Umfang fokussieren sich Prädiktoren im operativen Einsatz auf mechanisch und thermisch hoch belastete Systemkomponenten. In gängigen UAV Systemen (unter Ausnahme militärischer UAVs) finden diese Komponenten jedoch aufgrund der unterschiedlichen Dimensionen des Fluggeräts und der Treibstoff- und Antriebskonzepte keine Entsprechung. Als wesentliches Resultat ist festzuhalten, dass die Ermittlung relevanter Use Cases trotz des deutlich erhöhten Einsatzes von Sensorik für eine UAV-Datenplattform daher herausfordernder ist als im Bereich der bemannten Luftfahrt.

## **HAP 2 Datenplattform**

In AP 2.1 wurden Konzepte der bemannten Luftfahrt hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit auf UAVs untersucht. Mit dem AVIATAR verfügt LHT über eine OEM-unabhängige Datenplattform, die verschiedene Services aus dem Bereich Predictive Maintenance bereitstellt. Analog bieten Airbus und Boeing entsprechende Plattformen an, die sich zwar im Funktionalitätsumfang, nicht aber in der Ausrichtung unterscheiden. Für die Produkte des AVIATAR wurde eine Übersicht der angebotenen Services erstellt mit Fokus auf die bereits verfügbaren und derzeit entwickelten Prädiktoren, die auf den Leistungsdaten von Flugzeug und Systemkomponenten basieren. Im Zuge dieser Untersuchung wurde ebenfalls die automatische Aussteuerung von Folgehandlungen in den MRO anhand der Line und Base Maintenance untersucht. Hierbei wurden grundlegende Feststellungen gemacht: Sofern Betreiber des Luftfahrzeugs und Anbieter der MRO Dienstleistung nicht ein integriertes ERP System für technisches Flottenmanagement (in das die Implikationen der Prädiktoren einfließen) und MRO-Betrieb nutzen, das heißt, sobald kein In-House-MRO mit der Wartung des Luftfahrzeugs beauftragt ist, kommt es zu einem Datenbruch. Darüber hinaus wurde deutlich, dass die MRO-Datenplattform als „digitaler Zwilling“ des Flugzeugs mitnichten die Anforderungen eines MRO an ein digitales Abbild des technischen Systems erfüllt: Wesentliche Parameter, die eine automatisierte Wartungs- bzw. Überholungsplanung und -ausführung ermöglichen, werden in bestehenden Systemen nicht abgebildet. Ferner gibt es keine Anbieter am Markt, die eine Lösung für dieses zentrale Problem der gesamten MRO-Industrie versprechen. Mit Hinblick auf die Verwertungsperspektive ist das Projektteam zu folgendem Schluss gekommen: Eine MRO-Datenplattform für die bemannte Luftfahrt müsste einen adäquaten „digitalen Flugzeugzwilling“ ebenso umfassen wie einen „digitalen MRO-Zwilling“. Da beide aus (semi-)strukturierten Daten gespeist würden, ist von einer analogen Anwendbarkeit bei MRO-Dienstleistungen für UAVs auszugehen, da hier ähnliche Voraussetzungen bzgl. unzureichend strukturierter Daten vorliegen. Eine derartige Plattform verspricht ein größeres Verwertungspotenzial, weil hier zusätzlich signifikante Effizienzsteigerungen in der bemannten Luftfahrt realisiert werden können, die über den Mehrwert prädiktiver Datenhaltung für UAVs hinausgeht.



Im Anschluss richtete sich der Projektfokus auf das AP 2.1 zur Identifikation und Auswahl relevanter Datenquellen, die im Rahmen der hiermit verbundenen APs auch einer initialen prototypischen Verwertung zugeführt wurden. Im Austausch mit UAV Herstellern und Betreibern wurde erkannt, dass die Industrie einen sehr restriktiven Umgang mit Leistungs- und Zustandsdaten des Fluggerätes pflegt, der erheblich über die gängigen Limitierungen der bemannten Luftfahrt hinausgeht. Aus diesem Grunde wurde bei der Analyse relevanter Datenquellen ein breiterer Ansatz gewählt. Neben Betriebs- und Leistungsdaten aus den in den UAVs verbauten Sensorik haben sich als Knergebnis zwei weitere Datenquellen herausgestellt: Zum einen eignen sich die gesammelten Betriebsdaten externer Beobachter wie beispielsweise FlightRadar24 (FR24) für die Prädiktorenentwicklung, zum anderen sind auch die (unstrukturierten) Wartungsprotokolle der MROs geeignet für die Ableitung relevanter Erkenntnisse. Für beide Bereiche wurden umfassende Ergebnisse erarbeitet, die die Datenakquise (AP 2.3), Parameteridentifikation (AP 3.1) sowie prototypische Umsetzung umfassen (AP 2.5, 3.5).

Die LHT erwirbt von Dritten angebotene Flugdaten im Rahmen einer kommerziellen Vereinbarung. Im Rahmen des Projekts konnte ein Zugang zu diesen Daten sowie der Aufbau einer entsprechenden Pipeline zur Analyse sichergestellt werden. Während das Gros der Daten von konventionellen Fluggeräten der kommerziellen und allgemeinen Luftfahrt stammt, zeigte eine Analyse auf, dass auch heute schon die Daten von UAVs aufgezeichnet werden. Militärische UAVs sind mit entsprechenden Transpondern ausgestattet und werden dementsprechend verfolgt, wobei der Anteil der Flugbewegungen, die keiner Geheimhaltung und somit Datenlöschung bzw. Datenvermeidung unterliegen, unbekannt bleibt. In einer initialen Analyse der Daten für die kommerzielle Luftfahrt wurde untersucht, inwiefern sich aus den operativen Daten Anhaltspunkte für die spätere Befundung im Rahmen eines Maintenance Events ziehen lassen. Als Anhaltspunkt dienten die Befundungen aus Line und Base Maintenance Events der LHT, welche einen ausreichend großen Umfang für eine stichhaltige Analyse bieten. Zwei Knergebnisse resultieren aus dieser Analyse mittels Methoden des Machine Learning: Zum einen hat das geographische Einsatzgebiet der Luftfahrzeuge einen Einfluss auf die ermittelten Defekte, zum anderen gibt es einen Zusammenhang zwischen MRO Betrieben, die vorherige Checks durchgeführt haben und der Anzahl offener Defekte bei späteren Flugzeugüberholungen. Diesen Anwendungsfällen ging eine umfassende Untersuchung möglicher anderer Parameter hinaus.

Als Grundlage für die Entwicklung obenstehender Anwendungsfälle, aber auch zur Nutzung als selbstständige Prädiktoren, bieten sich die Wartungsprotokolle eines MROs an, welche einen Zusammenhang zwischen grundlegenden Daten des Fluggeräts (Alter, Flugstunden, Flugzyklen) und auftretenden Defekten herstellen. In den meisten Betrieben der Branche erfolgt die Befundung von Defekten anhand textueller Beschreibungen, welche ggf. um Bildmaterial ergänzt werden. Da diese Befundungsdaten im Wesentlichen unstrukturiert als Freitext vorliegen und zudem häufig nicht von Muttersprachlern in englischer Sprache verfasst werden, liegt eine

Kernherausforderung in der Nutzbarmachung der Daten. Zu diesem Zweck wurde mittels Aufbereitung der Daten und grundlegender sprachlicher Untersuchungsmöglichkeiten aus der KI eine Analyse zu Fehlertypen und betroffenen Bauteilen hergestellt. Ein Ansatz nutze ein FastText Embedding (NLP) und einen Unsupervised Clustering Algorithmus zur Kategorisierung von Defekten. Die resultierenden Cluster enthielten wertvolle Erkenntnisse: In über 30.000 verschiedenen Clustern gab es eine große Anzahl an Clustern (ca. 3000) mit sich häufig wiederholenden Defekten, die also einer Vorhersage besser zugänglich sind. In einem zweiten Ansatz wurden ebenfalls Defekttypen sowie betroffene Bauteile ermittelt und diese zunächst einer explorativen Analyse zugänglich gemacht. In einem weiteren Schritt wurden sowohl die Art der Defekte als auch ihre Schwere (ausgedrückt in benötigten Mannstunden für ihre Reparatur) in Zusammenhang mit den durchgeführten Inspektionen sowie Eigenschaften des Flugzeuges gebracht. Eine umfassende Analyse möglicher Parameter resultierte in einem KI-Modell, welches im Wesentlichen Flugzeugalter, Flugstunden, Flugzyklen sowie den Betreiber des Flugzeugs als Inputfaktoren nutzte. Mit diesem Modell konnte nach umfassendem Hyperparameter-Tuning eine zufriedenstellende Vorhersage über den Wartungsumfang (Mannstunden sowie Gesamtdauer) getroffen werden.

Im Rahmen der AP 2.3 (Datenverarbeitung, -speicherung und -sicherheit) und 2.5 (Konzeption und Aufbau einer Testumgebung) wurden die infrastrukturellen Komponenten für den Aufbau der Datenplattform untersucht. Im Vordergrund stand hierbei eine Schutzbedarfsfeststellung der Daten sowie die Prüfung, inwiefern das Schutzniveau durch verschiedene technische Lösungen erreichbar ist. Ferner wurde ein Konzept zur technischen Umsetzung einer integrierten Plattform erstellt. Mittels einer umfassenden Bewertungslogik wurde der Schutzbedarf etwaiger Daten vom und über das UAV als „hoch“ (zweithöchste Stufe) festgestellt. Dieses Schutzbedarfsniveau wurde in Zusammenhang mit organisatorischen und technischen Vorkehrungen zum Datenschutz gebracht. Für den Aufbau einer Datenplattform auf eigener Infrastruktur („on premise“) wurden diese Vorkehrungen im Konzept berücksichtigt; für die Untersuchung der Realisierung auf einer externen Infrastruktur wurde die Google Cloud Platform (GCP) hinsichtlich des realisierbaren Datenschutzes untersucht. In beiden Varianten lässt sich das Schutzniveau mit vertretbarem Aufwand realisieren. Hinsichtlich des Aufbaus einer eigenen Plattform wurde die Architektur für eine Datenplattform konzipiert, die neben der Datenvorhaltung und -analyse gleichzeitig auch die technischen Möglichkeiten zu kontinuierlicher Weiterentwicklung von KI-Modellen bietet (Sandboxing, Model Lifecycle Management). Für alle Komponenten wurde die Auswahl für eine konkrete Lösung getroffen und somit ein beispielhafter Tech Stack definiert.

## **II.2 Erläuterung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises**

Der zahlenmäßige Nachweis umfasst lediglich Personalkosten. Unteraufträge wurden nicht vergeben; Reisekosten für Reisen außerhalb Hamburgs sind auch vor dem Hintergrund der eingeschränkten Mobilität während der Covid-19-Pandemie nicht angefallen.

## **II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

Die eingesetzte Arbeitszeit der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der LHT war notwendig, um die genannten Inhaltlichen Erkenntnisse zu gewinnen und gleichzeitig sowohl die Fragestellung zu präzisieren als auch die Verwertungsperspektive kritisch zu prüfen. Auch aufgrund dieser Erkenntnisse wurde die Vergabe von Unteraufträgen zur Implementation der Datenplattform zunächst hintangestellt und schließlich gestrichen.

## **II.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses**

Das Vorhaben MEGA2 wurde nicht planmäßig und vollständig umgesetzt. Im frühen Projektverlauf hat die LHT Herausforderungen an die Verwertungsperspektive festgestellt, denen sowohl erhebliche Anschlussarbeiten als auch eine zeitliche Verzögerung zugemessen wurden. Mit dem Widerruf durch das BMWK wurde der Arbeitsumfang erheblich reduziert, die entstandenen Kosten liegen weit unter der Gesamt vorkalkulation. Somit hat auch das Ergebnis nicht den Umfang, der im Antrag und ursprünglichem Verwertungsplan angedacht war.

Über die konkrete Anwendung einer Datenplattform für Drohnen und Flugtaxis hinaus wurden wertvolle Erkenntnisse zum Einsatz von Künstlicher Intelligenz in der Nutzung von MRO-Daten und digitalen Zwillingen gewonnen. Die im Projekt aufgetretene Herausforderung, mit vielen lückenhaften und unvollständigen Datenquellen zu arbeiten und dabei dennoch nutzbare Informationen zu gewinnen, wird auch in anderen Datenplattformen neue Impulse geben.

Aus aktueller Sicht wird erwartet, dass die für die Verwertung durch die LHT erforderliche technische Reife und Marktentwicklung für neuartige Logistik- und Personentransport-Dienstleistungen lediglich verzögert eintreten wird. Die Ergebnisse des Vorhabens ermöglichen der LHT eine künftige Weiterentwicklung und stellen dafür eine geeignete Basis dar.

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

Im ursprünglichen Projektplan war mit einer früheren Marktreife und früher einsetzendem Testbetrieb von Transportdrohnen und Flugtaxis gerechnet worden. Intensive Gespräche der LHT mit Herstellern und potentiellen Betreibern haben aufgezeigt, dass gerade die Akteure, die Herstellung und Flottenbetrieb aus einer Hand anbieten wollen, ebenfalls den Bedarf an und den

Vorteil in der angezielten Art von Datenplattformen sehen. Kommerzielle Angebote jedoch, anhand derer sich der Umfang und die technische Reife messen ließe, sind weiterhin nicht in vergleichbarer Form verfügbar.

## **II.6 Veröffentlichungen und Vorträge**

Veröffentlichungen oder Vorträge wurden nicht getätigt.