

BEREITSTELLUNG VON PLANUNGSDATEN ZUR ÜBERWACHUNG UND INTEGRATION VON RAKETENSTARTS IN DEN LUFT- UND SCHIFFSVERKEHR

R. Hörder, T. Rabus, M. Neumann

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Flugführung, Lilienthalplatz 7,
38108 Braunschweig, Deutschland

Zusammenfassung

Orbitale Start- und Wiedereintrittsoperationen lassen sich in zwei verschiedene Phasen unterteilen. In der Planungsphase (Pre-Mission Phase) erfolgt die operationelle Planung durch den Betreiber der Rakete. Für eine Integration in den Luft- und Schiffsverkehr müssen die Planungsdaten mit den betroffenen Stakeholdern und Behörden ausgetauscht werden. In der Echtzeitphase (Realtime-Phase) wird die Operation überwacht, um auf mögliche ungeplante Ereignisse reagieren zu können. Für ein verbessertes Situationsbewusstsein während dieser Phase werden die geplanten Daten mit den Echtzeitdaten in Relation gesetzt. Zu diesem Zweck müssen die finalen Planungsdaten während der Echtzeitüberwachung zur Verfügung stehen. Dies erfordert eine zuverlässige Datenverbindung zwischen der Pre-Mission- und der Realtime-Phase. Das für die Weitergabe der Daten entwickelte Konzept wird in dieser Arbeit beschrieben und basiert auf der Microservice-Architektur aus dem SpaceTracks und ECHO-2 Projekt [1, 2].

Zu Beginn werden die für die Realtime-Phase identifizierten relevanten Planungsdaten diskutiert. Anschließend die im Konzept umgesetzten Datenformate und Datenquellen für die Eingabe ins Pre-Mission Tool beschrieben. Das Einlesen und die Eingabe dieser Daten erfolgt über ein dafür entwickeltes Softwaretool. Dieses enthält eine datenbankbasierte Architektur zum Ein- und Auslesen der Datenstrukturen. Eine graphische Oberfläche (Human-Maschine Interface - HMI) ermöglicht dem User eine manuelle Dateneingabe [2]. Zudem können die Daten auf der HMI für den User visualisiert werden. Über die Datenbank werden die relevanten Daten dem Realtime-Tool zur Verfügung gestellt und ebenfalls über eine HMI dargestellt. Mit Hilfe des entwickelten Konzepts soll eine zuverlässige Bereitstellung aller notwendigen Planungsdaten für die Echtzeitüberwachung ermöglicht werden.

Keywords:

Planungsphase, Echtzeitüberwachung, Raketenstarts, Wiedereintritte, Datenstrukturen, Software-Tool, Integration von Raketenstarts

1. EINLEITUNG

Die Anzahl der orbitalen Starts- und Wiedereintrittsoperationen nimmt stetig weiter zu. Auch private Unternehmen, wie zum Beispiel SpaceX in den USA, haben ihren Anteil daran. Die Federal Aviation Administration (FAA) hat dafür neue dynamische Verfahren entwickelt, die es ermöglichen gefährdete Bereiche offen zu halten und sie nur als Notfallmaßnahme in Echtzeit zu schließen und den Luftraum zu evakuieren. Der Testflug von Starship 7 im Januar 2025 zeigt, welche Auswirkungen ein missglückter Raketenstart auf den täglichen Luftverkehr haben kann. Nach der Explosion der Rakete wurde der Luftraum um San Juan, Puerto Rico, aufgrund herabfallender Trümmerreste gesperrt [3]. Bis zu 20 Flugzeuge mussten aufgrund dessen in die Warteschleife oder auf Ausweichflughäfen zurückgreifen [4]. Zur Überwachung und Übermittlung der Missionsdaten soll daher in der Echtzeitphase (Realtime-Phase) ein Software-Tool, Space Data Integrator, unterstützen [5].

Nach diesen ersten Startversuchen sollen auch in Europa orbitale Starts möglich gemacht werden [6, 7]. Diese werden in vertikal Starts, Air Launches oder Offshore Launches unterteilt und werden von einem Spaceport aus durchgeführt. Aufgrund der hohen Dichte stellt eine Integration von Raumfahrtaktivitäten in den Luft- und

Schiffsverkehr eine große Herausforderung dar, erschwert durch das multinationale Umfeld. Damit die Sicherheit für alle gewährleistet und die negativen Auswirkungen auf den täglichen Luft- und Schiffsverkehr so gering wie möglich gehalten werden kann, erfordert es den Austausch und die Koordination zwischen den verschiedenen Stakeholdern der Luft- und Schifffahrt, sowie dem Spaceport während der gesamten Operationsplanung und -durchführung.

Im Rahmen des Projekts European Concept of Higher Airspace Operations (ECHO) wurden neue Verfahren zur Integration von Start- und Wiedereintrittsoperationen in das europäische Air Traffic Management (ATM) eingebunden. Im Nachfolgeprojekt ECHO-2 wird ein neuer Arbeitsplatz, Space Desk, innerhalb vom Network Manager Operation Center zusammen mit EUROCONTROL entwickelt. Der Space Desk bildet die Schnittstelle zwischen der Raumfahrt und dem ATM.

Innerhalb von ECHO-2 wird am Institut für Flugführung am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Braunschweig an einem Tool zur Überwachung und Integration von orbitalen Starts- und Wiedereintrittsoperationen in den Luft- und Schiffsverkehr gearbeitet. Ein erster Konzeptentwurf wurde innerhalb des SpaceTracks Projektes erstellt, welcher eine Microservice-Architektur beinhaltet, die im Launch Coordination Center (LCC) integriert werden soll [1, 8].

Jeder dieser Microservices enthält verschiedene

Funktionen, um die Anforderungen der verschiedenen Phasen von orbitalen Start- und Wiedereintrittsoperationen abdecken zu können [1, 2]. In der ersten Phase erfolgt die operationelle Planung durch den Betreiber der Rakete und/oder den Spaceport. Diese wird durch den Pre-Mission Phase (PMP) Service abgedeckt. Die Realtime-Phase dient der operationellen Überwachung, um auf unvorhergesehene Ereignisse reagieren zu können. Hierfür wird der Realtime Mission Monitoring (RMM) Service genutzt, welcher aktuell für den Space Desk Operator die Konzeptidee von ECHO-2 erfüllt.

Die Entwicklung des PMP-Tools für das LCC wurde nun im Rahmen des OSLIOS-Projekts (Offshore Spaceport – Lösungsfindung und Infrastrukturentwicklung für Orbitale Starts) vorangetrieben, um Lösungen für die Nutzung von Offshore Spaceports zu entwickeln [9]. Das für die Weitergabe der Daten entwickelte Konzept wird in dieser Arbeit beschrieben.

2. USER UND DATEN IN DER REALTIME-PHASE

Eine zentrale Rolle in dieser Phase ist die Überwachung und Übermittlung des Live-Status einer orbitalen Start- oder Wiedereintrittsoperation, um die Sicherheit und Durchführung des Luft- und Schiffsverkehrs gewährleisten zu können [2]. Vor diesem Hintergrund wird für die Realtime-Phase eine zuverlässige Kommunikation zwischen dem Spaceport und den betroffenen Stakeholdern aus dem Luft- und Schifffahrtsbereich benötigt. Hierbei lassen sich für die User drei verschiedene Anforderungskategorien erstellen (TAB 1), welche anhand der Dokumente früherer Startplanungsprozesse von Virgin Orbit [10, 11] und vom German Offshore Spaceport Consortium (GOSA) ermittelt wurden ([12, 13]):

- Basic User,
- Advanced User,
- Spaceport User.

2.1. Basic User

Der Schwerpunkt bei diesem User liegt auf der Weitergabe von Informationen, ohne aktive Aktionen im Tool durchführen zu können. Der Basic User soll nur begrenzten Zugriff auf Informationen erhalten, denn es handelt sich hierbei überwiegend um private Stakeholder der Luft- und Schifffahrt.

Beide Usergruppen haben die Möglichkeit, den Live-Status einer Mission im RMM zu verfolgen. Zu diesem Zweck ist das Teilen folgender Missionsdaten erforderlich:

- Startzeitfenster,
- Startbereich/Startort,
- Betroffene Gebiete/Lufträume,
- Informationen zu den Ereignissen nach jedem Start,
- Informationen zu Trümmerteilen oder Stufentrennung,
- Live-Daten Luft- und Schiffsverkehr.

Zu den privaten Stakeholdern der Schifffahrt zählen unter anderem Verbände der Fischerei, Segelverbände und Reedereien. Zusätzlich werden die Betreiber von Öl- und Gasplattformen oder auch Offshore-Windparks in diese Kategorie eingeteilt. Diese benötigen aus der Pre-Mission Phase Informationen zu den gesperrten Gebieten. Diese werden in „Notice to Mariners“ (NOTMAR) veröffentlicht. Weitere wichtige Informationen während einer Mission, sind die Kontaktdata der Entscheidungsträger. In der Luftfahrt gehören z.B. die Airlines oder allgemeine Luft- und

Raumfahrtverbände zu den Basic Usern. Die Informationen zu den gesperrten Gebieten werden über „Notice to Airmissions“ (NOTAM) veröffentlicht.

2.2. Advanced User

Zu dieser Usergruppe gehören z.B. Genehmigungsbehörden, Flugsicherungsdienstleister oder auch die Küstenwache. Von den Meisten wird eine Zustimmung benötigt, um eine Starterlaubnis zu erhalten.

Der Advanced User hat daher im Vergleich zum Basic User mehr Aufgaben, die er während der Realtime-Phase übernimmt. Dazu gehört unter anderem eine intensivere Kommunikation mit den beteiligten Stakeholdern und dem Spaceport, um Informationen zu gesperrten Gebieten oder Lufträumen zu erhalten und an betroffene Stakeholder weiterzuleiten, damit diese ihren Aufgaben nachkommen können (z.B. Flugsicherungen, EUROCONTROL, etc.).

Als Advanced User sind in der Schifffahrt die Schifffahrtbehörden, die Küstenwache, das Militär oder auch die Hafenbehörden einzuordnen. Diese sind für eine sichere Durchführung und Planung des Schiffsverkehrs verantwortlich. Zur Planung und Koordinierung des Schiffsverkehrs benötigt der Advanced User daher folgende Informationen:

- NOTMARS,
- Verantwortliche Ansprechpartner,
- Kommunikation und Zuständigkeiten,
- Notfallplan und -kontakte.

Der Live-Status einer Mission beinhaltet folgende Daten:

- Informationen während der Offshore Phase: Der Zeitraum, in dem das Schiff mit der Startplattform zur Launch-Site und wieder zurück in den Hafen fährt,
- Startzeitfenster: Festlegung von Startzeiten, in denen die Rakete starten könnte. Das Startzeitfenster wird vom Spaceport User vorgegeben,
- Startort (Launch-Site),
- Betroffene Areale,
- Informationen zu den Ereignissen nach dem Start,
- Informationen zu Trümmerteilen oder abgeworfenen Stufen,
- Benachrichtigung, wenn NOTMARS annulliert werden können,
- Live-Daten Schiffsverkehr.

In der Luftfahrt sind andere Stakeholder für die Gewährleistung eines sicheren und effizienten Betriebs verantwortlich. Dazu gehören Air Navigation Service Providers (ANSPs), das Militär und EUROCONTROL, welche für den Luftfahrtsektor in diese fortgeschrittene Userkategorie eingeteilt werden. Da für eine orbitale Start- und Wiedereintrittsoperation freier Luftraum benötigt wird, müssen einzelne Gebiete aus Sicherheitsgründen für den Luftverkehr gesperrt werden. Mit den nachfolgenden Daten können die beteiligten Stakeholder über gesperrte Lufträume oder auch wieder freigegebene Lufträume informiert werden:

- NOTAM,
- Verantwortliche Ansprechpartner,
- Kommunikation und Zuständigkeiten,
- Notfallplan und -kontakte.

	Basic User	Advanced User	Spaceport User
Informationen	B-R1 Allgemeine Informationen zur Mission B-R2 Aktuelles Startzeitfenster B-R3 Betroffene Gebiete B-R4 Kontaktdataen	B-R1 – B-R4 A-R1 Kommunikationswege A-R2 Zuständigkeiten A-R3 Notfallplan	S-R1 Infos breitstellen, aus B-E1 – B-E5 und A-E1 – A-E6 S-R2 Zuständige Stakeholder ermitteln S-R3 Startzeit festlegen
	B-R5 Live-Daten Luft- und Schiffsverkehr B-R6 Betroffene Gebiete in Falle von Abweichungen B-R7 Informationen zu den Ereignissen während der Mission B-R8 Infos zu herabfallenden Trümmerteilen oder Stufen	B-R5 – B-R8 A-R4 aktuelle Trajektoriendaten	B-R5 – B-R8 A-R3
		A-R5 Warnungen senden und empfangen	A-R4
Kommunikation			

TAB 1. Übersicht über die Useranforderungen für die Realtime-Phase.

Informationen des aktuellen Missionsstatus bestehen aus den folgenden Daten:

- Aktuelles Startzeitfenster,
- Statusbericht,
- Fortschritt der Raketentrajektorie,
- Eintreten von wichtigen Abläufen,
- Benachrichtigung, wenn NOTAMs annulliert werden können,
- Live-Daten Luftverkehr.

Neben erfolgreich durchgeföhrten orbitalen Start- und Wiedereintrittsoperation können auch Komplikationen auftreten. Dies wurde bereits in der Einleitung am Beispiel der Testrakete Starship 7 von SpaceX erwähnt. Wenn Komplikationen auftreten und die Rakete explodiert, werden die letzten bekannten Vektordaten der Rakete zur Bestimmung der von herabfallenden Trümmerteilen betroffenen Gebiete benötigt. Weitere Informationen zur Einschätzung von betroffenen Lufträumen sind unter anderem, die voraussichtliche Endzeit eines non-nominal Ereignisse, nach der keine Gefahr mehr für die Lufträume besteht.

2.3. Spaceport User

Der Spaceport ist ein zentraler User, welcher die Aufgaben eines Launch und Re-Entry Site Operators (LRSO) übernimmt. Er ist der Betreiber eines Start- und/oder Landeplatzes für Start- und Wiedereintrittsoperationen. Der Launch und Re-Entry Operator (LRO) dagegen, ist der Betreiber einer Rakete oder ein Anbieter von Starts und Wiedereintritten, der mit dem LRSO zusammenarbeitet. Für die Echtzeitüberwachung benötigt der LRSO wichtige Kontaktinformationen der relevanten Stakeholder, um die

Verantwortung und die Kommunikation während der Operation übernehmen zu können. Zusätzlich braucht er die Informationen zum Ablauf eines Notfallplanes, falls während der Operation ungeplante Ereignisse eintreten. Dazu zählen z.B. das Abdriften der Rakete von der geplanten Trajektorie oder die Explosion der Rakete während der Operation. Ebenfalls muss der Spaceport User die Startzeit festlegen und teilen können (TAB 1, S-R3).

Für die Kommunikation zwischen Spaceport und Stakeholder müssen verschiedene Komponenten zum Senden von allgemeinen und/oder Alarmierungsnachrichten zu den einzelnen Stakeholdern ermöglicht werden.

3. DATEN IN DER PRE-MISSION PHASE

In der Pre-Mission Phase werden Daten gesammelt und dokumentiert, welche für die Realtime-Phase und den Start erforderlich sind. Das Ziel ist es, eine Kommunikation zwischen allen Beteiligten zu ermöglichen und einen besseren Überblick in der Vorbereitung für eine orbitale Start- und Wiedereintrittsoperation zu gewährleisten.

3.1. Basic User

Der Basic Maritime User erhält bereits in der Pre-Mission Phase wichtige Informationen zur Missionsplanung und den betroffenen Gebieten, um die Auswirkung durch die Start- oder Wiedereintrittsoperation auf die eigenen Aktivitäten bestimmen zu können (TAB 1, B-R1). Aus diesem Grund sollten alle Kontaktdataen von Stakeholdern mit Entscheidungskompetenz im Tool verfügbar sein. Mit Hilfe der NOTMARs können vorläufig

gesperrte Gebiete abgegriffen werden und in der Routenplanung bzw. Tagesplanung betrachtet werden (B-R3). Weitere Informationen zu den Updates am Starttag oder im Startzeitfenster können ebenfalls für private Stakeholder notwendig sein. Schiffsbetreiber oder Betreiber von Offshore Plattformen können somit die Auswirkungen auf ihre eigene Operation abschätzen und ihr Einverständnis geben oder Widerspruch einlegen.

Auch in der Luftfahrt werden Informationen wie das Startzeitfenster benötigt. Über NOTAM veröffentlichte Gebiete, die von dem Start oder Wiedereintritt betroffen sein könnten, werden mit Flugrouten verglichen und in der weiteren Flugplanung berücksichtigt (B-R3). Bei potenziellen Konflikten könnten die betroffenen Stakeholder Widerspruch einlegen und dies an den LRO/LRSO oder die Luftfahrtbehörden wie EUROCONTROL weitergeben.

3.2. Advanced User

Innerhalb der Pre-Mission Phase besteht ein regelmäßiger Austausch mit Stakeholdern, welche grundlegend für den Fluss und die Durchführung des Luft- und Schiffsverkehrs verantwortlich sind.

Im Bereich der Schifffahrt findet dieser zwischen dem LRO/LRSO und z.B. den Schiffahrtbehörden und Küstenwachen statt. Diese Stakeholder erhalten die Informationen zur Mission, wichtige Kontaktdata von weiteren beteiligten Stakeholdern und dem LRO sowie Updates zu den Startzeitfenstern und Starttagen. Zusätzlich wird der Zeitplan bis zum Start der Operation mitgeteilt.

Die Daten zur Startposition, dem Startzeitfenster, der Anzahl der Raketenstarts und dem Typ des Raketenstarts werden vom LRSO/LRO an die zuständigen Behörden mitgeteilt. Außerdem werden die Koordinaten der betroffenen Gebiete, weitere Kontaktdetails sowie Informationen zur Operation übermittelt. Diese Informationen werden daraufhin über die Behörden an die privaten Schifffahrtteilnehmer über NOTMARs weitergeleitet.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Auswirkung auf beteiligte Bereiche, wie die Hafenumgebung, die Einschränkung des Schiffsverkehrs und Einflüsse verbleibender Trümmerreste nach der Startsequenz auf Offshore- und Unterseeinfrastrukturen.

In der Pre-Mission Phase ist eine Zusammenarbeit mit dem LRSO erforderlich, welche die Stakeholder-Einsatzplanungen, die Kommunikation und Zuständigkeiten, sowie Notfallpläne und Benachrichtigungsvorgänge beinhaltet. Diese Einsatzplanung ist für eine reibungslose Missionsdurchführung während der Realtime-Phase relevant.

Für die Stakeholder im Bereich des Luftverkehrs werden wie beim Schiffsverkehr die allgemeinen Missionsinformationen wie Missionsname und/oder Start- und Wiedereintrittszeit geteilt. Zum Austausch der Informationen über die betroffenen Lufträume werden folgende Daten für die NOTAMs benötigt:

- Startposition,
- Startfenster,
- Anzahl der Startbewegungen,
- Koordinaten sowie untere und obere Grenze der Gebiete.

Die Bereitstellung von Startprognosen ist eine entscheidende Funktion für die Sicherheit und Effizienz des Luftverkehrs. Diese Prognosen enthalten eine umfassende Vorhersage der zukünftigen Starts, einschließlich der Zeitplanung, der geografischen Koordinaten des Startortes, des Flugbahnnazimuts und der Höhe des Apogäums. Darüber hinaus werden detaillierte Zeitangaben zu nachfolgenden Ereignissen nach dem Start übermittelt, die es ermöglichen, die Auswirkungen auf die Sicherheit des Luftverkehrs besser abzuschätzen (TAB 1, B-R7).

Diese Informationen des LRSO bilden eine wichtige Basis für die Sicherheit im Luftverkehr. Die Einbindung von Interessenvertretern und die Kommunikation zwischen den entsprechenden Verantwortlichen sind entscheidend, um Benachrichtigungsverfahren und Notfallmaßnahmen zielgerichtet bestimmen zu können (A-R1).

3.3. Spaceport User

Der LRO als Spaceport User, muss verschiedene Informationen für die Antragstellung einer Betriebslizenz zur Verfügung stellen. Dazu gehören die allgemeinen Informationen zur Mission:

- Startort,
- Startzeitfenster,
- Informationen über das Transportschiff (Offshore Launch),
- Kontaktinformationen des Personals.

Zusätzlich werden weitere Daten über die Trägerrakete in der Pre-Mission Phase benötigt:

- Spezifikation,
- Betriebsbeschreibungen,
- Geplante Trajektorien Daten,
- Gefahrengebiete in der Luft und am Boden, z.B. für die Launch Site oder Stufentrennungen.

Zur Gewährleistung der Sicherheit anderer Missionsteilnehmer werden vorher betroffene Stakeholder, wie Regulierungsbehörden oder Infrastrukturbetreiber mit den dazugehörigen Exclusive Economic Zones (EEZ) oder Flight Information Regions (FIRs), identifiziert. Deren Kontaktinformationen werden benötigt, um folgende weitere Punkte abzusprechen:

- Zeitplan während der Pre-Mission Phase und in der Realtime-Phase,
- Kommunikationswege,
- Benachrichtigungsverfahren,
- Notfallmaßnahmen.

4. DATENBANKBASIERTE ARCHITEKTUR

4.1. Grundlegende Architektur

Wie im vorherigen Kapitel dargelegt, werden eine große Menge an Daten benötigt, um alle beteiligten Akteure in eine Start- und Wiedereintrittsoperation einzubinden und zu informieren. Aus diesem Grund wurde die Microservice Architektur aus dem SpaceTracks Projekt [1] um einen weiteren Service, den Database Service, einer Datenbank, erweitert. Die Microservice Architektur ist damit auf die aktuelle Anforderung, die Verarbeitung großer Datenmengen, angepasst worden und besteht aus den folgenden Komponenten (siehe BILD 1):

- PMP-Service und -Client: Unterstützt die Planung im Vorfeld von Missionen, indem Missionsdaten

- importiert, Risikoberechnungen durchführt und sich mit den Beteiligten abstimmt werden, um die Auswirkungen auf den Flugverkehr und Schiffsverkehr vorherzusagen und zu minimieren [1].
- RMM-Service und -Client: Überwachung der Echtzeitdaten einer Mission, indem die Raumfahrzeugtrajektorie und aktuellen Luft- und Schiffsverkehr anzeigen und ungeplante Ereignisse übermittelt werden [1].
 - Risk Calculation Service: Von zentraler Bedeutung für die Berechnung der Gefahrenbereiche und der potenziellen Auswirkungen von Starts und Wiedereintritten von Raumfahrzeugen [1].
 - Database Service: Speichert alle zuvor erwähnten Missionsdaten aus der Pre-Mission-Phase, um diese in der Realtime-Phase abrufen zu können. Enthält einen weiteren Service zur Bestimmung des betroffenen Luft- und Schiffsverkehrs und der betroffenen Stakeholder.

Luftraumstrukturen oder ausschließliche Wirtschaftszonen werden über externe Datenquellen abgerufen. Ebenso wird der Live-Luft- und -Schiffsverkehr extern abgerufen:

- SWIM-Service: Abrufen von aktuellen Luftrauminformationen aus der SWIM-Architektur (FIRs, UIRs und Sektoren) [1].
- Air traffic: Verbindung zum Live-Flugverkehr z.B. mit OpenSky über ADS-B Transponder
- Maritime: Verbindung zum Live-Schiffsverkehr z.B. AIS-Daten
- Rocket Trajectory: Vektordaten des Raumfahrzeugs werden vom LRO/LRSO geteilt.

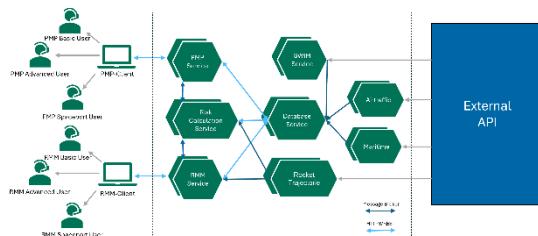


BILD 1. Microservice Architektur aktueller Stand.

Alle externen Daten zur Echtzeitüberwachung werden über Message Broker an die Datenbank gesendet und abgespeichert. Einige Daten werden bereits in der Pre-Mission Phase benötigt. Dazu gehören, neben den aktuellen Luftraumdaten aus dem SWIM-Service oder EEZs, auch die historischen Daten der Dichteverteilung, aktuell aus dem Jahr 2023, von Luft-, Schiffsverkehr und Bevölkerung. Diese werden für die Impactanalyse der verschiedenen Standorte und Startfenster benötigt.

Über die PMP-Clients können die User die Daten abfragen und sich über eine Benutzerschnittstelle (HMI) anzeigen lassen. Der Betreiber eines Raumfahrzeugs kann darüber hinaus wichtige Dateien im Json- oder csv-Format hochladen und exportieren.

Als Kommunikation zwischen den Usern ist eine WebSocket-Verbindung integriert [14]. Diese ermöglicht das Einbinden von Textnachrichten und Nachrichtenelementen, die den Datenaustausch in der Pre-Mission Phase und in der Realtime-Phase unterstützen sollen.

4.2. Database Service

Ein zentrales Element in der Architektur ist der Database Service. Dieser stellt alle benötigten Daten aus der Pre-Mission Phase für die Realtime-Phase bereit. Hierfür wird die Open-Source H2-Datenbank verwendet, welche vollständig in Java geschrieben wurde [15]. Es bestehen die Möglichkeiten diese in Anwendungen zu integrieren oder im Client-Server-Modus zu nutzen. Außerdem können die Daten In-Memory sowie auf einem Datenträger persistent gespeichert werden [15].

Alle relevanten Daten aus Kapitel 2 und 3 werden in dieser Datenbank gespeichert. Dazu gehören:

- Operationsdaten,
- Schiffsfahrtdata,
- Luftraumdaten,
- Daten aus der Schnittstelle zu externen Services wie z.B. Live-Daten des Luft- und Schiffsverkehrs.

Neben dem Abspeichern der allgemeinen Missionsdaten enthält der Database Service einen weiteren wichtigen Service. Nach dem Erhalt von Live-Daten von Luft- und Schiffsverkehr werden diese gesammelt und analysiert. Luftfahrzeuge oder Schiffe werden identifiziert und nach ihrer Gefahrensituation sortiert, sobald ein aktives oder inaktives Gebiet innerhalb des Launch Korridors durchflogen oder passiert wird. Die betroffenen Luftfahrzeuge oder Schiffe werden dann in der Datenbank abgelegt und markiert. Außerdem können historische Datensätze für den Luft- und Schiffsverkehr für die Impactanalyse genutzt werden.

Zusätzlich werden alle Luftraumstrukturen FIRs, UIRs und Sektoren sowie die maritimen Strukturen von externen Services abgerufen und gespeichert. Auch hier werden die einzelnen Gebiete ermittelt, welche durch die aktuelle orbitale Start- oder Wiedereintrittsoperation betroffen sind.

4.3. PMP-Client

Für die Dateneingabe und den -austausch zwischen der Pre-Mission Phase, den Stakeholdern in der Luft- und Seefahrt und dem Spaceport, ist der PMP-Client verantwortlich. Es handelt sich hierbei um eine Benutzerschnittstelle (HMI). Diese bildet das Frontend vom PMP-Service, welcher in der Microservice Architektur aus Kapitel 4.1 dargestellt wurde. Die wesentlichen Elemente, wie Kartenansicht, Zeitachse, Informationen zu Gefahrengebieten und allgemeine Missionsinformationen wurden aus dem RMM-Entwurf von [2] übernommen. Die Farbe Lila wird im RMM für die geplanten Daten verwendet. Aus diesem Grund hat der PMP diese Farbe der FS595 Safety Colors als Grunddesign erhalten [16].

4.3.1. Basic User

In BILD 2 ist das HMI für den Basic User in der Pre-Mission Phase abgebildet. Die darin enthaltenen Abkürzungen sind aus der Tabelle TAB 1 zu entnehmen und stehen für die verschiedenen Useranforderungen aus Kapitel 3. Der PMP-Client ist für den Basic User eine Art Dashboard, welches überwiegend Informationen liefert. Die Karte sowie die Elemente rechts und unterhalb davon werden immer angezeigt. Auf der linken Seite können weitere Informationen beliebig über integrierte Schaltflächen aus- und eingeblendet werden (B-R1), welche die allgemeinen Informationen zur Mission und darüber die Möglichkeit zur Eingabe der eigenen Kontaktdaten enthalten. Alle

gesammelten Daten aus der Pre-Mission Phase können abschließend oder währenddessen über die Schaltfläche in der rechten oberen Ecke exportiert werden.

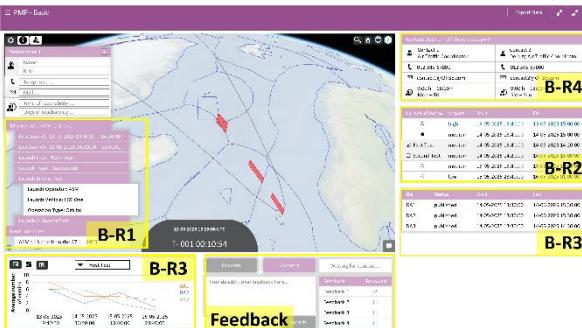


BILD 2. HMI, Hauptfenster, PMP – Basic User.

Das Hauptelement ist die Weltkarte. Diese zeigt die Informationen über die Positionen der gesperrten Gebiete und den Startkorridor. Zusätzlich können Infrastrukturen wie EEZ für den Schiffsverkehr und FIR, UIR sowie Sektoren für den Luftverkehr angezeigt werden. Am unteren Rand wird in der Mitte die aktuelle Uhrzeit in UTC sowie das Datum angezeigt. Zusätzlich kann über den Countdown die Zeit bis zum Starttag und zur Startzeit abgelesen werden. Rechts unten in der Kartenecke befindet sich ein Nachrichtenfenster, das dem User bei Änderungen von Daten eine Mitteilung sendet.

Rechts neben dem Kartelement sind verschiedene Tabellen aufgeführt. In der oberen Tabelle (B-R4) sind die Kontaktdata für den Spaceport und andere Stakeholder aufgeführt. Darunter werden die verschiedenen potenziellen Startfenster für die Mission aufgelistet. Das aktuelle Startzeitfenster wird zusätzlich farbig hervorgehoben. Des Weiteren werden für jedes Startfenster ein Impact Indikator in der Tabelle mit angegeben. Die letzte Tabelle (B-R3) enthält die Information der gesperrten Gebiete.

Neben der Start- und Endzeit der Sperrung wird auch der aktuelle Status des Gebietes dargestellt. Dieser kann sich zwischen „veröffentlicht“ und „nicht veröffentlicht“ unterscheiden. Durch Klicken auf die einzelnen Gebiete können weitere Informationen wie genaue Koordinaten und Höhenbegrenzung ausgelesen werden.

Das Element unterhalb der Karte erfüllt zwei verschiedene Useranforderungen. In der linken Hälfte (B-R3) werden die Ergebnisse aus der Impactanalyse für alle möglichen Startfenster und allen betroffenen Gebieten angezeigt. Daneben kann der Basic User Feedback zur Planung geben und über ein Chat-Fenster den Spaceport User kontaktieren.

4.3.2. Advanced User

Der Advanced User bekommt unterschiedliche Fenster, die zum Sammeln von Informationen zur Vorbereitung der Realtime-Phase relevant sind. Aus diesem Grund werden die nicht relevanten Anzeigefenster hier nicht näher beschrieben, können aber in der Pre-Mission Phase zur Unterstützung hilfreich sein.

Dazu gehört die Impactanalyse der betroffenen Gebiete auf den Luft- und Schiffsverkehr. Ein weiteres Anzeigefenster enthält ein detailliertes Tool zur Übersicht der notwendigen Schritte während der Pre-Mission Phase.

Hauptseite

Das Anzeigefenster im PMP-Client für den Advanced User hat viele Gemeinsamkeiten zum Basic User (B-R1 – B-R8). Allerdings werden viele Zusatzfunktionen über weitere Anzeigefenster abgedeckt.

BILD 3 zeigt die Hauptseite für den Advanced User. Zusätzlich wird hier in der Karte die Bodenspur der geplanten Trajektorie sowie weitere geplante Informationen zur Geschwindigkeit und Höhe angezeigt. Für die Impactanalyse und die Nachrichtenfunktion wurden ergänzende Seiten erstellt, um einen größeren Überblick zu erhalten. Aus diesem Grund wurde unterhalb der Karte eine Zeitleiste hinzugefügt, die kommende Aufgaben und Meilensteine zusammenfassend in der Pre-Mission Phase anzeigt.

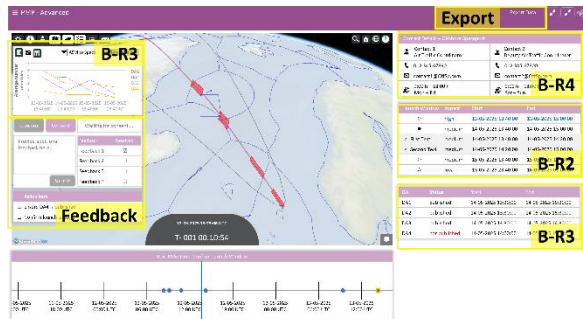


BILD 3. HMI, Hauptfenster, PMP – Advanced User.

Weitere Missionsdaten sind hier in der Tabelle auf der linken Seite enthalten. Diese zeigen die geplanten Ereignisse einer orbitalen Start- oder Wiedereintrittsoperation an. Zur zeitlichen Einordnung können diese auch unten in der Zeitleiste angezeigt werden.

Kontaktseite Stakeholder

Für die Einbindung verschiedener Stakeholder in der Pre-Mission Phase wurde ebenfalls eine neue Anwendungsseite in BILD 4 konzipiert.

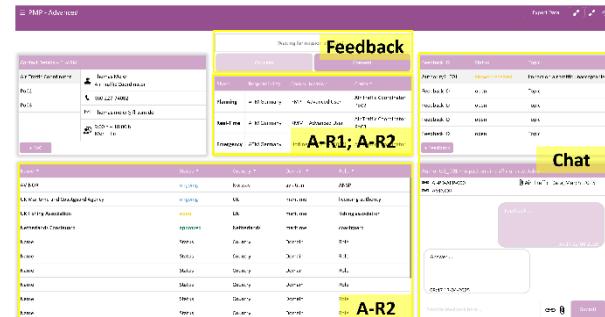


BILD 4. HMI, Kontaktseite Stakeholder, PMP– Advanced User.

In der Tabelle (A-R1; A-R2) oben in der Mitte können die Kontaktdetails angezeigt und die Verantwortlichkeiten von verschiedenen Stakeholdern für die Pre-Mission Phase sowie die Realtime-Phase festgelegt werden. Darunter, in der großen Tabelle (A-R2), werden alle beteiligten Stakeholder aufgelistet, von denen Feedback eingefordert werden muss. Auf der rechten Seite wurde ein Chat-Bereich für den Austausch von Daten und Dokumenten während der Pre-Mission Phase zwischen Advanced User

und Spaceport User integriert (Chat).

Operationsplanung

Ein weiterer Punkt für den Advanced User stellt die Bearbeitung von verschiedenen Operationsschritten und Kommunikationswege (A-R1) zur Vorbereitung der Realtime-Phase dar, die gemeinsam mit dem Spaceport User ausgearbeitet werden kann (BILD 5). Diese beiden User können einen neuen Schrittlauf erstellen und diesen mit einzelnen Schritten versehen. Es können für jeden Schritt Aktionen definiert und an die User zugewiesen werden. Bei einem Informationsaustausch gibt es die Möglichkeit einen Empfänger zuzuordnen.

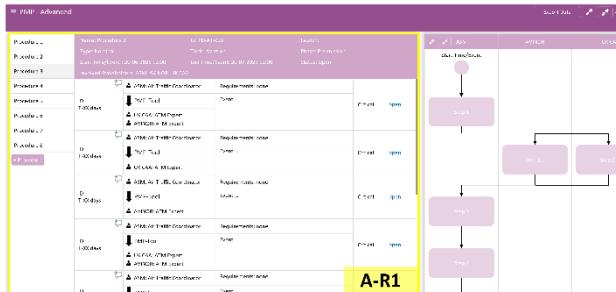


BILD 5. HMI, Operationsplanung, PMP – Advanced User.

Weitere Datenfelder beinhalten eine Start- oder Endzeit für einen Operationsschritt sowie den Status über den Abschluss dieses Schrittes. Zusätzlich kann die Wichtigkeit dafür in Bezug auf die Planung und die Echtzeitüberwachung ausgewählt werden.

Rechts neben der Tabelle erhält der User eine Übersicht der geplanten Schritte in Form eines Flussdiagramms.

Notification

Wie in Kapitel 3 erwähnt, werden Warnungen zu gesperrten Gebieten z.B. über NOTMARS (Schiffsverkehr) oder NOTAMs (Luftverkehr) veröffentlicht. Zur Unterstützung wird ein weiterer Service, s. BILD 6, in den PMP integriert, mit dem die Erstellung und Weiterleitung dieser Nachrichten vereinfacht werden soll. Die Tabelle auf der linken Seite dient zur Übersicht aller relevanten Daten zu einem gesperrten Gebiet z.B. Name, Koordinaten und den aktiven Zeitraum (B-R3).

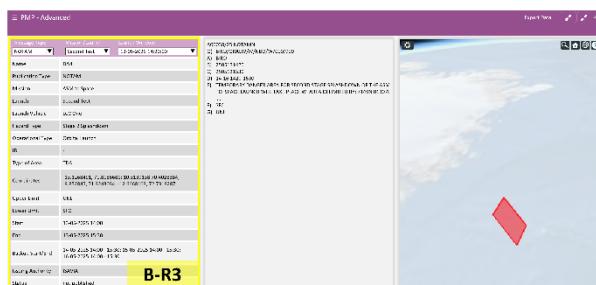


BILD 6. HMI, Notification, PMP – Advanced User.

Diese Daten können in einem auswählbaren Meldeformat dann exportiert und im mittleren Textfeld angezeigt werden. Zur besseren Verdeutlichung über die Lage eines gesperrten Gebietes wird dieses dann in der Karte auf der rechten Seite dargestellt.

4.3.3. Spaceport User

Der Spaceport User erhält dieselben Anzeigefenster wie der Advanced User. Das Hauptfenster aus Kapitel 4.3.2. BILD 3 unterscheidet sich für den Spaceport User nur minimal. Anstelle der Kontaktdetails (B-R4) werden Verbindungen zu den beteiligten Stakeholdern gelistet. Dadurch bekommt der Spaceport User in der Pre-Mission Phase einen Überblick, welche Daten von den beteiligten Stakeholdern übergeben und anerkannt wurden. Über weitere Schaltflächen kann ein „NO-GO“ oder „GO“ für das ausgewählte Startfenster gegeben werden. Wenn der Spaceport ein GO für das ausgewählte Startzeitfenster gibt, wechselt die User 24 Stunden vor dem Start in das Realtime-Tool RMM [17].

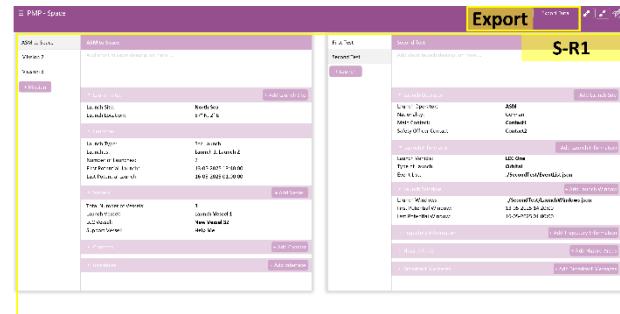


BILD 7. HMI, Dateneingabe Missionsinformationen, PMP – Spaceport User.

Zur Eingabe der allgemeinen Informationen einer Mission, der gesperrten Gebiete, der geplante Trajektorie sowie der geplanten Starts (S-R1) wurde eine weitere Seite hinzugefügt (BILD 7). Der Spaceport kann die Daten manuell mittels Textfelder eingeben oder die entsprechenden Dateien hochladen. In der oberen Ecke befindet sich eine Schaltfläche zum Exportieren der Daten (Export, BILD 7).

Der Spaceport User verfügt über eine zusätzliche Chatfunktion, um die verantwortlichen Stakeholder zu informieren. Weitere Planungsschritte werden auf den Seiten der detaillierten Missionsplanung und den Planungsschritten gemeinsam mit den Stakeholdern erstellt.

Eine weitere Seite enthält im Planungstool die Impactanalyse. Diese Informationen werden allerdings grundlegend nicht in der Realtime-Phase benötigt und werden daher nicht detaillierter betrachtet.

4.4. RMM-Client

Der User kann 24 Stunden vor der orbitalen Start- oder Wiedereintrittsoperation auf den RMM-Service über den RMM-Client zugreifen [17]. Im Rahmen der Realtime-Phase konzentriert sich das System auf die Überwachung der betroffenen Gebiete, um die Sicherheit des Luft- und Schiffsverkehrs während der Mission gewährleisten zu können.

Die grundlegenden Elementen wurden aus dem Grundentwurf des HMI für ECHO-2 übernommen [2]. Die Farben wurden auf die FS 595 Safety Colors angepasst [16]. Der obere Bereich des Ansichtsfensters enthält weiterhin den Verbindungsstatus zu allen Stakeholdern und die Verkehrswarnungen für den Luft- und Schiffsverkehr [2]. Die Breite der Karte wurde von einem Drittel auf zwei Drittel vergrößert, um den Fokus auf die aktuelle Verkehrslage zu lenken. Gleichzeitig konnte mehr Platz für die Anzeigen auf

der rechten Seite bereitgestellt werden, welche nun die wichtigen Kontaktinformationen und Zuständigkeiten sowie eine Tabelle für den betroffenen Luft- und Schiffsverkehr enthält. Zur Erfüllung der Useranforderungen aus TAB 1 wurden individuelle HMIs für den einzelnen User vorgesehen.

4.4.1. Basic User

Die Useranforderungen für den Basic User beschränken sich auf die Anzeige von Informationen. Aus diesem Grund wurde ein Dashboard entwickelt, welches Informationen und Status-Anzeigen zur Mission enthält (BILD 8).

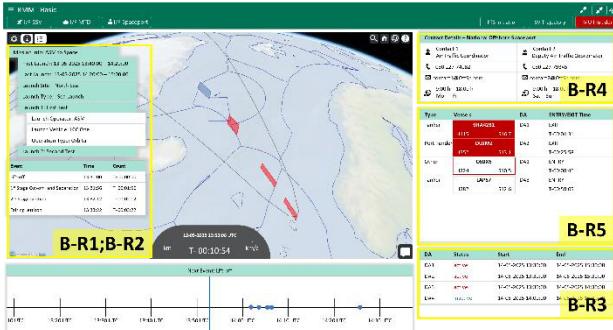


BILD 8. HMI, Hauptanzeige, RMM – Basic User nach [2].

Das Kartenelement sowie die Tabellen auf der rechten Seite und die Zeitachse können nicht ausgeblendet werden. Dagegen sind für die Elemente auf der linken Seite (B-R1; B-R2) Schaltflächen zum Ein- und Ausblenden vorgesehen.

Das zentrale Element stellt die Kartenansicht dar. In dieser werden die gesperrten Gebiete und der Launch Korridor angezeigt. Zusätzlich können Gebiete wie z.B. FIRs, EEZs oder andere Infrastrukturen in der Karte abgebildet werden. Das linke Element (B-R1; B-R2) enthält oben die allgemeinen Informationen zur Mission, wie z.B. Launch Site und Startfenster. Darunter befindet sich die Tabelle mit den Ereignissen einer Mission.

Am unteren Rand der Karte ist eine Anzeige für den Countdown bis zum Start und die aktuelle Uhrzeit integriert. Umschlossen werden die Daten von der Höhen- und Geschwindigkeitsanzeige der Rakete. Während einer Gefahrensituation wird hier außerdem die Zeit ab der Terminierung des Ereignisses und die mögliche Endzeit angezeigt.

In der rechten unteren Ecke befindet sich innerhalb des Kartenelements ein Benachrichtigungsfenster, um z.B. Ereignisse oder Warnungen erhalten zu können.

Weitere Tabellenelemente befinden sich auf der rechten Seite. Wie bereits im PMP veranschaulicht, werden in der oberen Tabelle die Kontaktdata aufgelistet (B-R4). Unter diesen können der betroffene Luft- oder Schiffsverkehr identifiziert werden. Dafür werden z.B. Callsign, Heading und Geschwindigkeit angezeigt. Zusätzlich werden die betroffenen Gebiete abgebildet, von denen der Verkehr beeinflusst wird. Zudem wird die Zeit dargestellt, bis der Verkehr das Gebiet erreicht oder wieder verlässt.

Verschiedene Farben signalisieren den Status eines Gebietes. Bei Rot handelt es sich um aktive Gebiete, während die gelb markierten Gebiete inaktiv sind. Ergänzend zum Status werden in der unteren Tabelle die Start- und Endzeiten für die Sperrung der Gebiete aufgelistet (B-R3).

4.4.2. Advanced User

Entsprechend der Zugriffsrechte im PMP besteht die Möglichkeit im RMM-Tool mit dem Spaceport User zu interagieren. Alle Elemente auf der Hauptseite wurden vom Basic User übernommen und um weitere Funktionen ergänzt (BILD 9). Auf der Karte werden weiterhin der Live-Luft- und -Schiffsverkehr sowie die aktuelle Trajektorien Daten übermittelt.

Darüber hinaus kann der User im linken Anzeigenelement sich die aktuelle Geschwindigkeit und Höhe der Trägerrakete im Graphen darstellen lassen [2]. Hinzu kommt, dass der Advanced User Warnungen an die betroffenen Stakeholder senden und empfangen kann. Dies ermöglicht eine weitere Chat- und Nachrichtenfunktion (A-R5).

Die Zeitleiste unterhalb der Karte ermöglicht eine Darstellung der verschiedenen Notfallpläne sowie die verschiedenen Ereignisse einer Mission. Das zusätzliche Fenster dient zum Abhaken der Schrittabfolgen während einer Notsituation, wie z.B. Explosion der Rakete (A-R3). Im rechten Bereich der Hauptseite enthält die obere Tabelle erneut alle relevanten Kontaktdata und Zuständigkeiten (A-R1; A-R2).

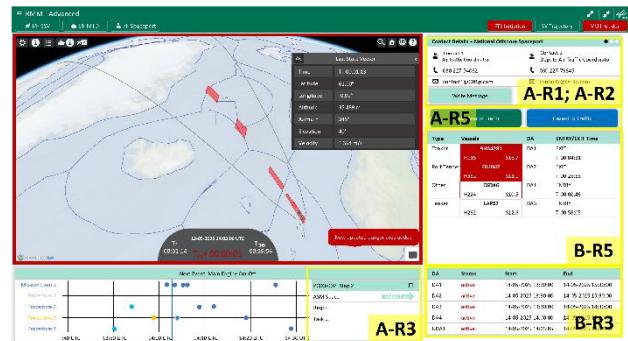


BILD 9. HMI, Hauptanzeige, RMM – Advanced User nach [2].

4.4.3. Spaceport User

Damit der Spaceport User seine Rolle in der Realtime-Phase ausführen kann, werden alle Funktionen von der Hauptseite des Advanced Users übernommen. Die Karte enthält den aktuellen Live-Verkehr für Luft- und Seefahrt. Außerdem kann die aktuelle Trajektorie der Rakete angezeigt werden. Der flexibel einblendbare Bereich wurde durch ein weiteres Eingabefenster erweitert (BILD 10), um andere Stakeholder über die Startzeit zu informieren.



BILD 10. HMI, Update der Startzeit, RMM – Spaceport User nach [2].

Hier kann der Start durch den Spaceport User auf „Hold“ oder abgesagt werden, falls die Operation nicht durchgeführt werden kann. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die neue Startzeit festzulegen, welche in der

Pre-Mission Phase vorher abgestimmt wurde. Weiterführend werden detaillierte Kontaktinformationen und Zuständigkeiten von allen wichtigen Stakeholdern in der Tabelle rechts oben aufgeführt. Außerdem können gesperrte Gebiete vom Spaceport User wieder freigeben werden, wenn eine Gefahr für den umgebenden Verkehr auszuschließen ist.

5. DISKUSSION UND AUSBLICK

Mit diesen Software-Tools wird die Entwicklung eines LCC vorangetrieben, um in der Pre-Mission Phase sowie in der Realtime-Phase den Austausch der Daten zwischen Spaceport und betroffenen Stakeholdern der Luft- und Seefahrt zu unterstützen. Stakeholder können wichtige Informationen zur gesamten Mission und den daraus folgenden Auswirkungen erhalten.

Der erforderliche Austausch zwischen Spaceport und den zuständigen Stakeholdern wird in der Pre-Mission Phase durch den PMP unterstützt. Dieser bietet dem Spaceport User den Vorteil, alle relevanten Daten an einem Ort zu verwalten und effizient an die Stakeholder verteilen zu können. Die Anpassung der HMI an die Useranforderungen ermöglicht eine zielgerichtete Bereitstellung der Daten für die zuständigen Stakeholder und einen Kommunikationsweg zum Spaceport für die Planung und Lizenzierung eines Raketenstarts. Der PMP beinhaltet den Import der Missions- und Fahrzeugdaten durch den Spaceport bis hin zur Erstellung von detaillierten Briefingunterlagen für alle involvierten Stakeholder. Das Situationsbewusstsein wird durch die Bereitstellung von Planungsinformationen ermöglicht und erweitert. Mit Hilfe einer vorläufigen Risikoanalyse zum Flug- und Schiffsverkehr können Vorhersagen und Empfehlungen für ein geeignetes Startfenster getroffen werden.

In der Realtime-Phase unterstützt der RMM den zuständigen Stakeholder und den Spaceport bei der Überwachung der Start- und Wiedereintrittsoperation. Mit Hilfe der Verknüpfung von Echtzeitdaten und den geplanten Daten wird das Situationsbewusstsein während der Missionsüberwachung verbessert gewährleistet. Wichtige Informationen werden bereits aus der Pre-Mission Phase über die datenbankbasierte Architektur zur Verfügung gestellt. Weitere Informationen erhalten alle Verantwortlichen einer Mission über externe Schnittstellen, wie SWIM [18] oder Live-Daten Anbindungen. Zusätzlich kann der Missionsstatus mit beteiligten Stakeholdern geteilt werden. Über entsprechende Schnittstellen können Betreiber andere betroffene Stakeholder über den Missionsstatus informieren und diesen teilen.

Für das RMM-Tool sind bereits weitere Workshops und eine Validierung im Rahmen von ECHO-2 für den Space Desk Operator mit EUROCONTROL geplant, um die Funktionen an die Useranforderungen anzupassen. Im Rahmen von OSLIOS fand bereits ein Austausch mit einem zukünftigen Offshore Spaceport statt, welcher von OHB, der Harren-Gruppe und MediaMobil betriebenen werden soll. Dieser Austausch wird genutzt, um die Funktionen im PMP-Tool zu verbessern und die Vorteile des PMPs herauszuarbeiten. Zusätzlich ist die Begleitung einer Offshore Kampagne mit dem PMP und RMM im Shadow-Mode geplant, um weiteres Feedback von einzelnen Stakeholdern zu bekommen und dieses später in Spaceport Tools integrieren zu können.

Literaturverzeichnis

- [1] J. Hampe und A. Stahnke, „Improving air and space safety through enhanced coordination with the SpaceTracks Suite microservice architecture,“ *Journal of Space Safety Engineering, Volume 11, Issue 1*, pp. Pages 80-86, 2024.
- [2] J. Hampe, „Design Consideration and Evaluation of a Human-Machine Interface for Real-time Mission Monitoring of a Launch and Re-Entry Coordination Systems:“Building a safe and secure sustainable Space,“ in *Proceedings of the International Space Safety Conference. International Association for the Advancement of Space Safety IAASS*, 2024.
- [3] Aero Telegraph, „Nach Explosion von Elon-Musk-Rakete funkelt Airbus-Pilot: "MAYDAY, MAYDAY, MAYDAY",“ Focus online, 19. Januar 2025. [Online]. Available: https://www.focus.de/panorama/welt/nach-explosion-von-elon-musk-rakete-funkt-airbus-pilot-mayday-mayday-mayday_111d03ed-856f-44a5-86ee-657f393c76c6.html. [Zugriff am 15. September 2025].
- [4] G. Brumfiel, „Air traffic controllers rush to divert aircraft after Elon Musk's rocket explodes,“ NPR, 17 Januar 2025. [Online]. Available: <https://www.npr.org/2025/01/17/nx-s1-5266013/elon-musk-rocket-exploded>. [Zugriff am 15. September 2025].
- [5] Federal Aviation Administration, „The Space Data Integrator (SDI),“ 4. April 2025. [Online]. Available: <https://www.faa.gov/newsroom/space-data-integrator-sdi-0>. [Zugriff am 12. September 2025].
- [6] Andoya Space, „First test flight from Andøya Spaceport conducted,“ 12. April 2025. [Online]. Available: <https://andoyaspace.no/news-articles/first-test-flight-from-andoya-spaceport-conducted/>. [Zugriff am 12. September 2025].
- [7] Air Accidents Investigation Branch, „Statement on an investigation into why launch vehicle Launcher One did not reach orbit following its launch from Cornwall Spaceport on 9 January 2023,“ Vereinigtes Königreich, 2024.
- [8] S. Kaltenhäuser und e. al., „Towards Efficient Integration of Rocket Launches and Re-entry Operations in European Airspace: Development and Testing of a Launch Coordination Center,“ in *75th International Astronautical Congres*, Mailand, Italien, 2024.
- [9] Bundesministerium für Verkehr, „BMDV fördert Planungen zu mobilen Satelliten Starts in der Nordsee,“ 07. Februar 2025. [Online]. [Zugriff am 17. September 2025].
- [10] Virgin Orbit UK Ltd., „Virgin Orbit - Rocket Flight from Spaceport Cornwall,“ ID: ACP-2021-031, 2021. [Online]. Available: <https://airspacechange.caa.co.uk/PublicProposalArea?ID=373>.
- [11] Virgin Orbit UK Ltd., „Virgin Orbit Rocket Launch from Spaceport Cornwall,“ Case ref: MLA/2022/00134/1, Licence ref: L/2022/00477/1, UK Marine Management Organisation - Public Register, 2022. [Online]. Available: <https://www.gov.uk/check-marine-licence-register>. [Zugriff am 17. September 2025].

- [12] German Offshore Spaceport Alliance (GOSA), „GOSA Demo #1, MLA/2024/0013ß,“ UK Marine Management Organisation - Public Register, 2022. [Online]. Available: <https://www.gov.uk/check-marine-liscence-register>. [Zugriff am 17. September 2025].
- [13] German Offshore Spaceport Alliance (GOSA), GOSA internal documents, 2023.
- [14] Spring, „Using WebSocket to build an interactive web application,“ VMware Tanzu, o.J.. [Online]. Available: <https://spring.io/guides/gs/messaging-stomp-websocket>. [Zugriff am 17. September 2025].
- [15] H2 Database, „Qickstart,“ o.J.. [Online]. Available: <https://h2database.com/html/quickstart.html>. [Zugriff am 16. September 2025].
- [16] W3 Schools, „The FS 595 Color Standard,“ o.J.. [Online]. Available: https://www.w3schools.com/colors/colors_fs595.asp. [Zugriff am 15. September 2025].
- [17] A. Stahnke, T. Rabus und S. Kaltenhäuser, „Unterstützung der Sicherheit und Effizienz bei der Luftraumintegration von Raketenstarts- und Wiedereintrittsoperationen in Europa,“ Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt - Lilienthal-Oberth e.V, Bonn, 2022.
- [18] F. Morlang, „Swim in Space with Comrades in the Air,“ in *69th International Astronautical Congress*, Bremen, 2018.

Kontakt

richard.hoerder@dlr.de