

Zukunft der Luftfahrtwartung: KI- und AR-basierte-Remote- Inspektionen



Lukas Rapp

(Celairion GmbH, Airworthiness
Review Manager)

Andreas Steiner

(TU Wien, Wissenschaftlicher
Mitarbeiter)

Motivation

CAMO: Gewährleistung von Sicherheit und Werterhalt in der Luftfahrt

Eine große Fluggesellschaft meldet Insolvenz an.

Plötzlich bleiben Dutzende von Flugzeugen am Boden –
Vermögenswerte in Milliardenhöhe sind bedroht.¹

Wer schützt diese?

Continuing Airworthiness Management Organisation (CAMO) – das Rückgrat der Flugsicherheit und des Werterhalts von Flugzeugen.



1200–1.400 Fluggesellschaften (23.000 Flugzeuge) | 50–70 Insolvenzen in den letzten 5 Jahren (≈ 4–6 %) | Durchschnittsalter der Flotte: 11,6 Jahre | Neues Flugzeug: 101 Mio. USD → nach 11,6 Jahren: 35 Mio. USD | Wert der stillgelegten Vermögenswerte: 600 Mio. USD

Wer sind wir?

Standorte und Kunden



HAUPTSITZ

Österreich

GEGRÜNDET

2008 (seit 2019
eigenständig)

RECHTSFORM

GmbH (KMU)

MISSION

Flugzeugtransfers weltweit mit
CELAIRION



Kirsty Bettinger
Geschäftsführerin

E-Mail: kbettinger@clairion.aero



Dunkelgrau sind die Standorte unserer Kunden

Was bieten wir?

Unsere Kerndienstleistungen



FLUGZEUG TRANSFERS

- Unterstützung bei Übergaben
- Mid-Lease-Inspektionen
- Dokumentenprüfungen



ANKAUF INSPEKTIONEN

- Technische Prüfungen vor Käufen/Verkäufen
- Betriebsprüfungen



UNABHÄNGIGE AUDITS

- Regulatorische Überprüfungen

Flugzeuginstandhaltung

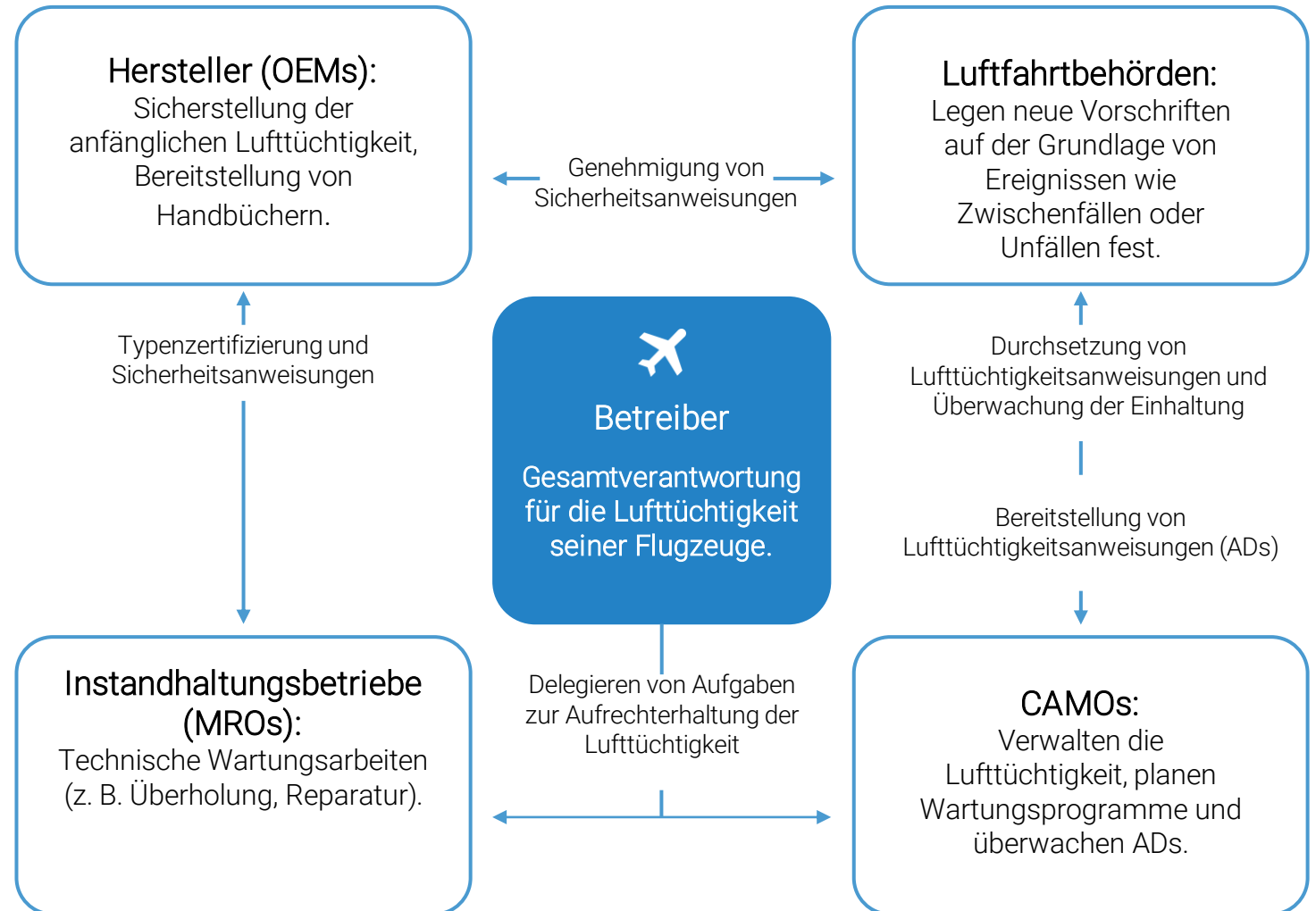
Was ist Camo?

Eine zentrale Aufgabe der Flugzeuginstandhaltung ist die Sicherstellung der **fortdauernden Lufttüchtigkeit** von Flugzeugen.

Dies bedeutet die fortlaufende Überwachung und Wartung von Systemen, um einen sicheren Flugbetrieb zu gewährleisten.

Es gibt:

- Planmäßige Wartung
- Regelmäßige Inspektionen
- Reparaturen
- Modifikationen



Flugzeuginstandhaltung

Was sind Flugzeuginspektionen zur Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit?

UMFANG

Allgemeine Sichtprüfungen (GVI) → ohne physische Hilfsmittel durchgeführt (keine Korrekturmaßnahmen)

ZIEL

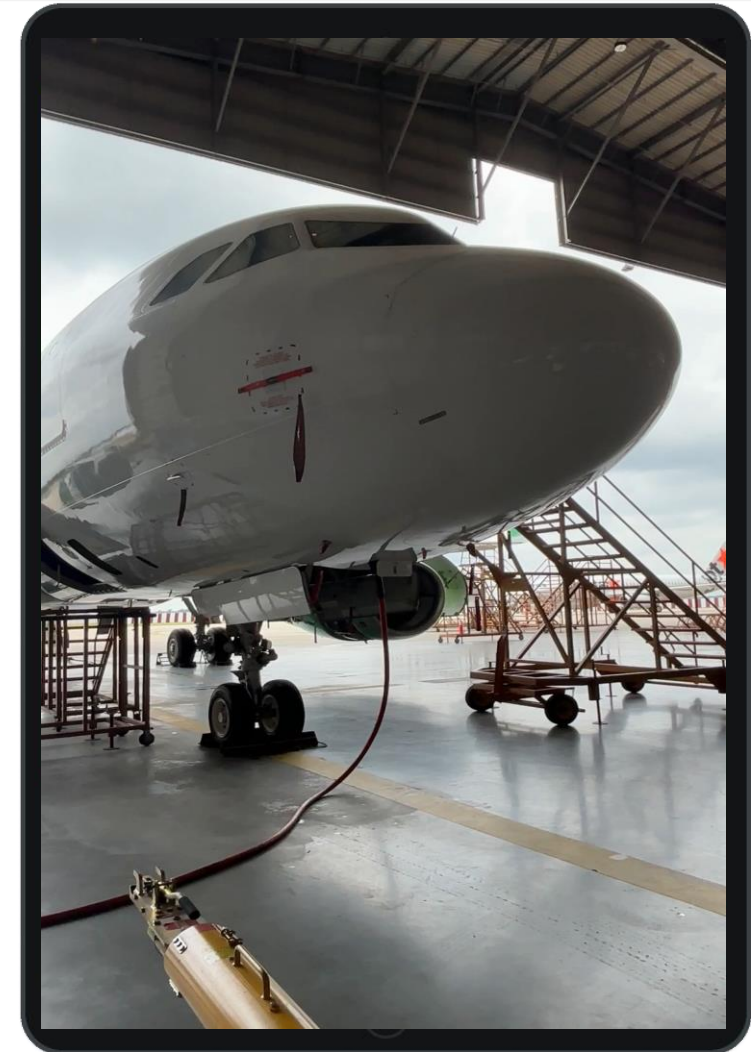
- Sicherstellung der Einhaltung aller Vorschriften.
- Frühzeitige Erkennung von Schäden und Verschleiß.

ROLLEN

- Durchführung durch zertifiziertes Personal
- Z.B. Prüfer für Lufttüchtigkeit

REGULIERT DURCH EASA

- Vorgaben zu Verfahren und Intervallen.
- Dokumentation und Rückverfolgbarkeit.



Regulatorisches Umfeld

EASA-Vorschriften und künftige Änderungen in Bezug zu AI

Primäre Rechtsgrundlage

Verordnung (EU) Nr. 1321/2014

→ Teil-CAMO (Management und Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit)

Relevante Bestimmungen:

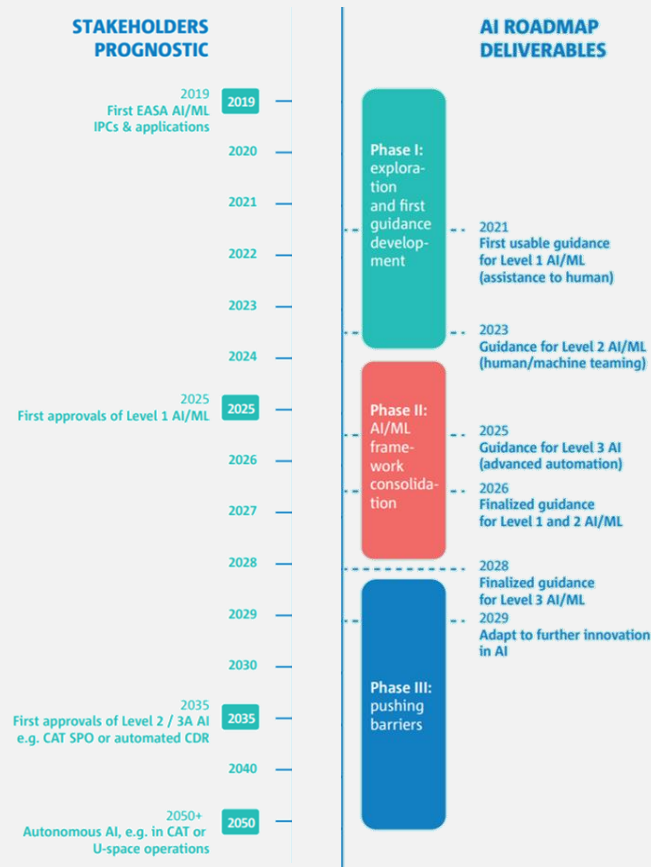
- Aufgaben und Verantwortlichkeiten des Personals

CAMO.A.305: Festlegung der autorisierten Aufgaben, Befugnisse und Verantwortlichkeiten des Wartungs-/CAMO-Personals.

- Technische Aufzeichnungen und Aufbewahrung

CAMO.A.220: Verwaltung und Aufbewahrung technischer Unterlagen, einschließlich lebensbegrenzter Teile und zeitgesteuerter Komponenten.

EASA-Fahrplan für KI – Relevanz für Inspektionen



01 Menschliche Aufsicht und Verantwortlichkeit

Zertifiziertes Personal bleibt für Feststellungen und Entscheidungen zur Lufttüchtigkeit verantwortlich. Die Rollen von KI und Mensch sind klar definiert.

02 Datenverwaltung und Rückverfolgbarkeit

Dokumentation von Datensätzen und Modellversionen sowie Nachvollziehbarkeit durch Prüfpfade gemäß Aufbewahrungsvorschriften.

03 Leistungsgarantie

Prüfung auf Verzerrungen und Robustheit. Kontinuierliches Monitoring im Betrieb. Fallback-Strategien für definierte Abweichungen.

04 Risikobasierte Einführung

Stufenweise Einführung: Zunächst Entscheidungsunterstützung, später Automatisierung.

Forschungsprojekt A3R (2024–2025)

Herausforderungen visueller Inspektionen



Flugsicherheit setzt
Lufttüchtigkeit voraus.



Die Lufttüchtigkeit
wird u.a. durch visuelle
Inspektionen
sichergestellt.

PHASEN DER VISUELLEN INSPEKTIONEN:

- 01** Vorbereitende Arbeiten: Sammlung und Auswertung der Anlagenhistorie sowie der aktuellen Konformitätsdokumente.
- 02** Die visuelle Inspektion und Bewertung des Zustands
- 03** Nachbereitende Arbeit: Risikoanalyse, Dokumentation sowie Berichterstattung.



HERAUSFORDERUNGEN VISUELLER INSPEKTIONEN IN DER LUFTFAHRT:

- 19 % der Flugzeugunfälle sind auf Wartungsfehler zurückzuführen (IATA-Sicherheitsbericht 2022).
- Manuelle Sichtprüfungen weisen eine hohe Subjektivität auf und sind stark durch individuelle Erfahrung und Wahrnehmung der Prüfperson geprägt (Rice et al., 2018).
- Inspektionssysteme in der Luftfahrt decken derzeit jeweils nur einzelne Inspektionsaufgaben ab. (Yasuda et al., 2022).
- Inspektionssysteme in der Luftfahrt berücksichtigen meist weder Vor- noch Nachbearbeitung, was zusätzlichen Aufwand bei Vorbereitung und Berichterstellung verursacht. (Yasuda et al., 2022).



Forschungsprojekt A3R (2024–2025)

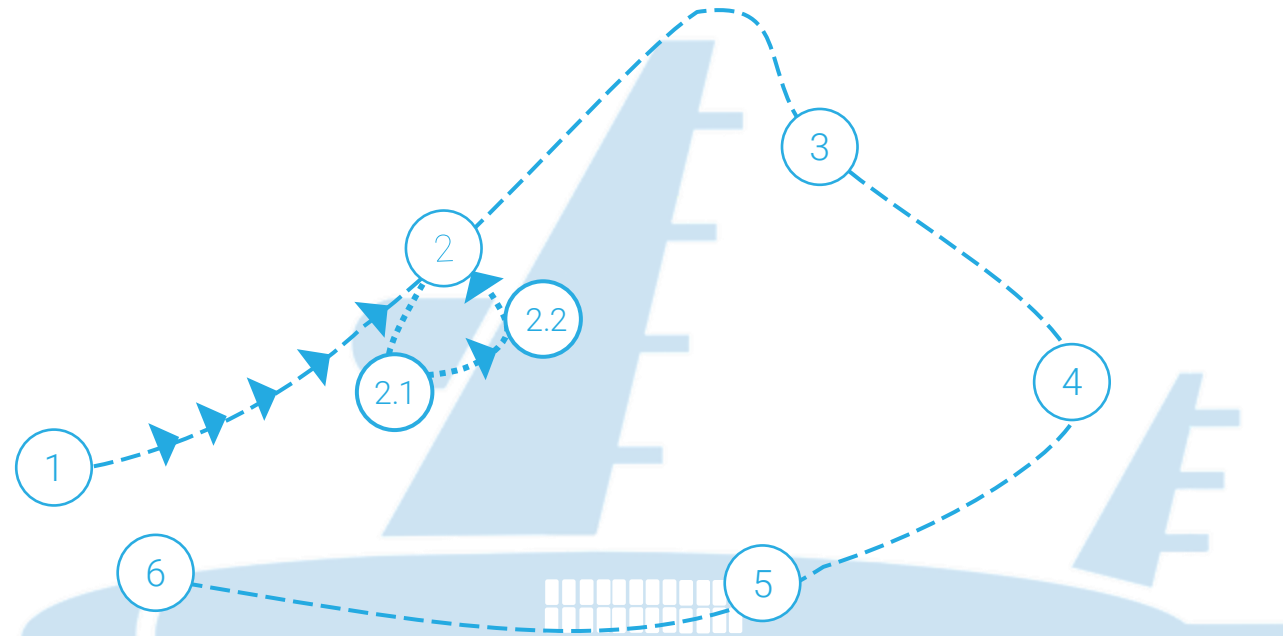
Der Flugzeuginspektionsprozess

Inspektionsarten:

- Lufttüchtigkeitsprüfung
- Vorflug-Check
- Wöchentliche Überprüfung
- ...

Inspektionsprozess (Regionen):

- Außenbereich: Bug
- Außenbereich: Triebwerk
- Außenbereich: Tragfläche
- Außenbereich: Seitenleitwerk
- Innenraum: Bordküche
- Innenraum: Cockpit
- ...



LUFTTÜCHTIGKEITSPRÜFUNG

Inspektionsaufgaben:

1. Außenbereich: Bug

- Kontrolle auf Schäden und Verformungen
- ...

2. Außenbereich: Triebwerk

- Kontrolle auf Schäden und Verformungen
- Überprüfung der Seriennummer
- Fremdkörperfreiheit (FOD) sicherstellen
- ...



TRADITIONELLE INSPEKTIONEN VOR ORT

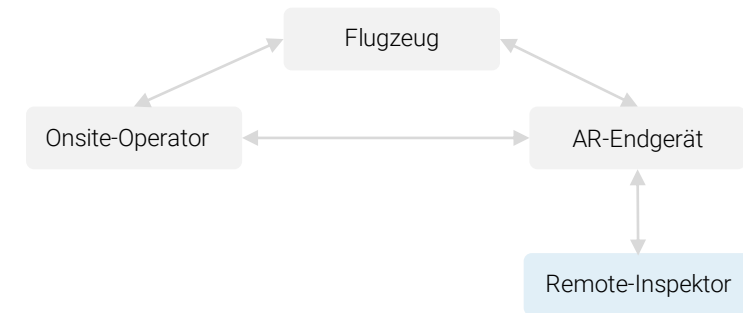
- Anreise von Experten zum Standort erforderlich
- Hoher Zeit- und Ressourcenaufwand
- Begrenzte Verfügbarkeit von Fachwissen vor Ort



REMOTE-INSPEKTIONEN

■ Standort des Flugzeuges

■ Aus der Ferne



Menschenzentrierter Ansatz

- Flexibler, ortsunabhängiger Einsatz von Experten
- Keine umfangreichen Änderungen an der Infrastruktur oder behördliche Genehmigungen erforderlich
- Einfache schrittweise Integration in bestehende Prozesse
- Die Beteiligung des Menschen bleibt unerlässlich (rechtlicher Rahmen)

AR-Assistenzsystem:

- Kontextsensitive Erkennung, Musteranalyse, Handlungsempfehlungen.
- Echtzeit-Zusammenarbeit über Smart Glasses oder mobile Geräte.
- Datenüberlagerungen, Anweisungen und Anmerkungen → Gemeinsames Blickfeld

Forschungsprojekt A3R (2024–2025)

Anforderungen für Remote-Inspektionen

Nutzung & Interaktion

Ergonomie: Gewicht < 300 g

Direkte Kommunikation: Austausch und teilen von Inhalten zwischen Onsite und Remote

Funktionalität

Videoqualität: ≥ 1080p, Stabilisierung > 5

Remote Annotation: Historische Inspektionsbereiche und Schadensbilder

Videopriorisierung: Maximal 30% des Bildschirms sollten für Steuer- und Kontrollfunktionen eingenommen werden

Ausfallsicherheit: Fallback-System

Kontextbasierter Dokumentenzugriff: Semantische Verknüpfung von Bild- und Textdaten



Prozesskontext

Flexibilität: 24/7, indoor/outdoor

Regulierung & Dokumentation

Dokumentation: Nachvollziehbarkeit

Rechtskonform: EASA

IT-Sicherheit: Verschlüsselung

Standardisierung: Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit

Technologische Infrastruktur

Endgeräte: robust, Kamera ≥ 12 MP

Plattformen: Geräte- und Systemunabhängig

Netzwerk: min. 30 kbps, LTE/5G/WLAN

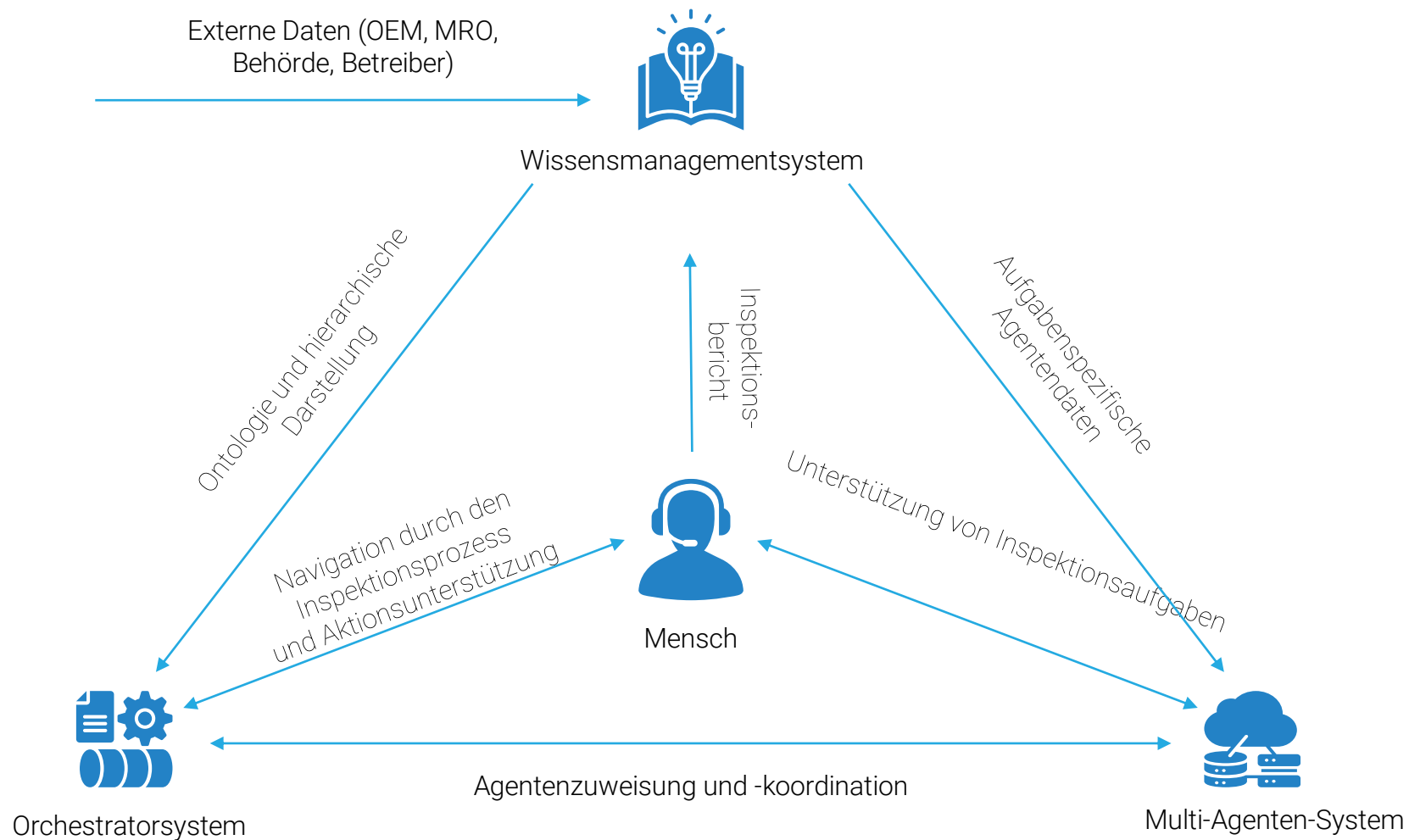
Rolls-Royce (2020): Picture this – a new way of supporting customers. Online verfügbar unter: <https://www.rolls-royce.com/media/our-stories/discover/2020/intelligentengine-powerofrent-picture-this-a-new-way-of-supporting-customers.aspx> [Zugriff: 11.06.2025].

Pratt & Whitney (2020): Using Digital Tools to Minimize Disruptions. In: Airtime, 05.05.2020. Online verfügbar unter: <https://www.prattwhitney.com/blogs/air-time/2020/05/05/using-digital-tools-to-minimize-disruptions> [Zugriff: 11.06.2025].

Kolesnikow, A.; Behrens, R.; Westerkamp, C.; Kremer, H.; Rafrafi, M.; Colin, N. (2013): Remote engineering solutions for industrial maintenance. In: 2013 11th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Bochum, Germany. Bochum: IEEE, S. 488–493.

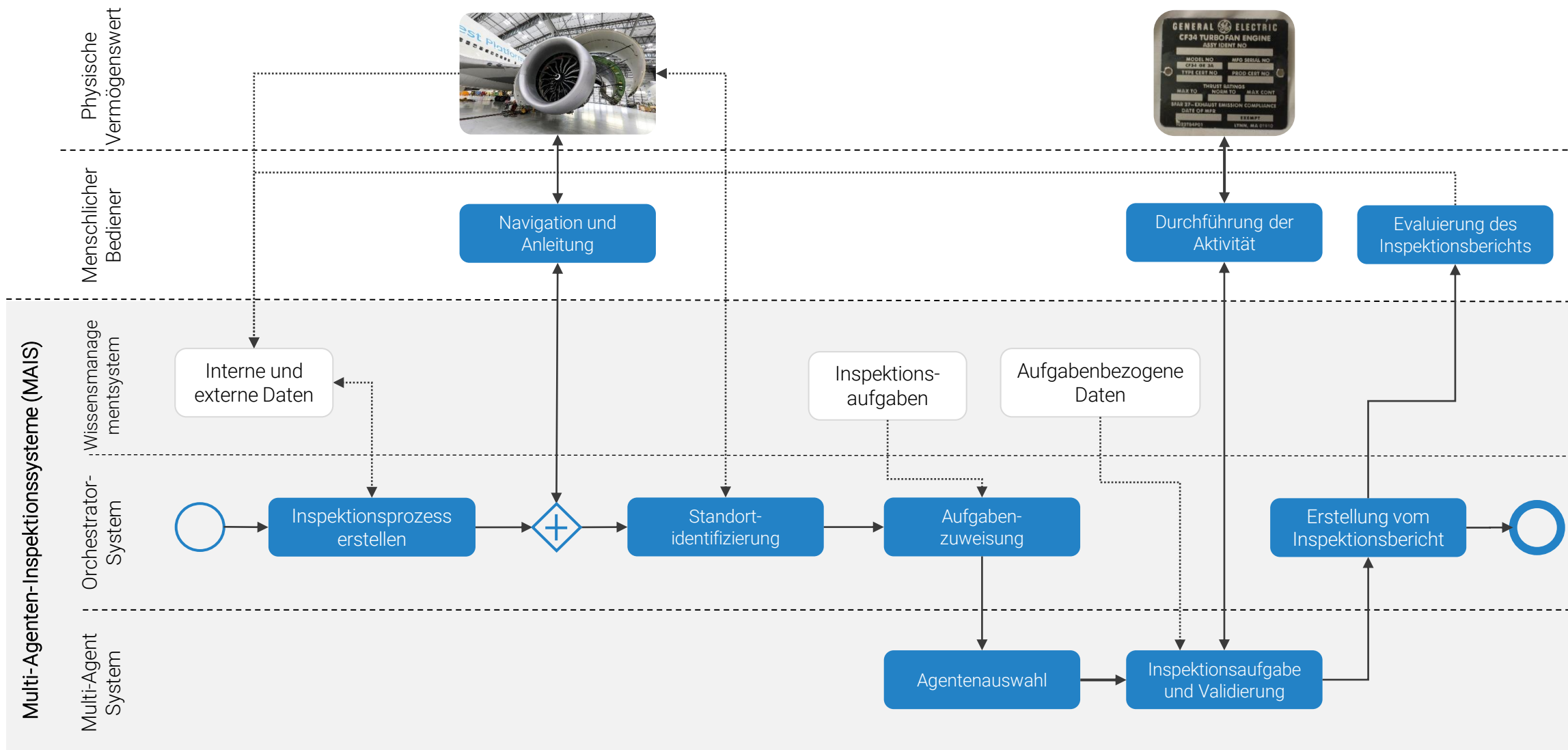
Forschungsprojekt A3R (2024–2025)

Multi-Agenten-Inspektionssystem



Forschungsprojekt A3R (2024–2025)

Anwendungsfall – Seriennummernvalidierung



Forschungsprojekt A3R (2024–2025)

Orchestratorsystem

HERAUSFORDERUNG

- Die Steuerung des Inspektionsprozesses mit einem Assistenzsystem. Wie erkennt das System, was wo zu tun ist, und bietet dem Inspektor gleichzeitig Flexibilität?

PROOF OF CONCEPT

- Konzeption und prototypische Umsetzung eines kontextbewussten Systems zur Differenzierung von Arbeitsaufgaben und zur transparenten Prozessdokumentation.
- Integrierte Region-Detection-Logik, die den Eintritt in definierte Bereiche, Mindest- und Maximalabstände sowie die Aufenthaltsdauer innerhalb dieser Regionen erfasst und auswertet.



Ansatz: YOLO12n zur Objekterkennung

Forschungsprojekt A3R (2024–2025)

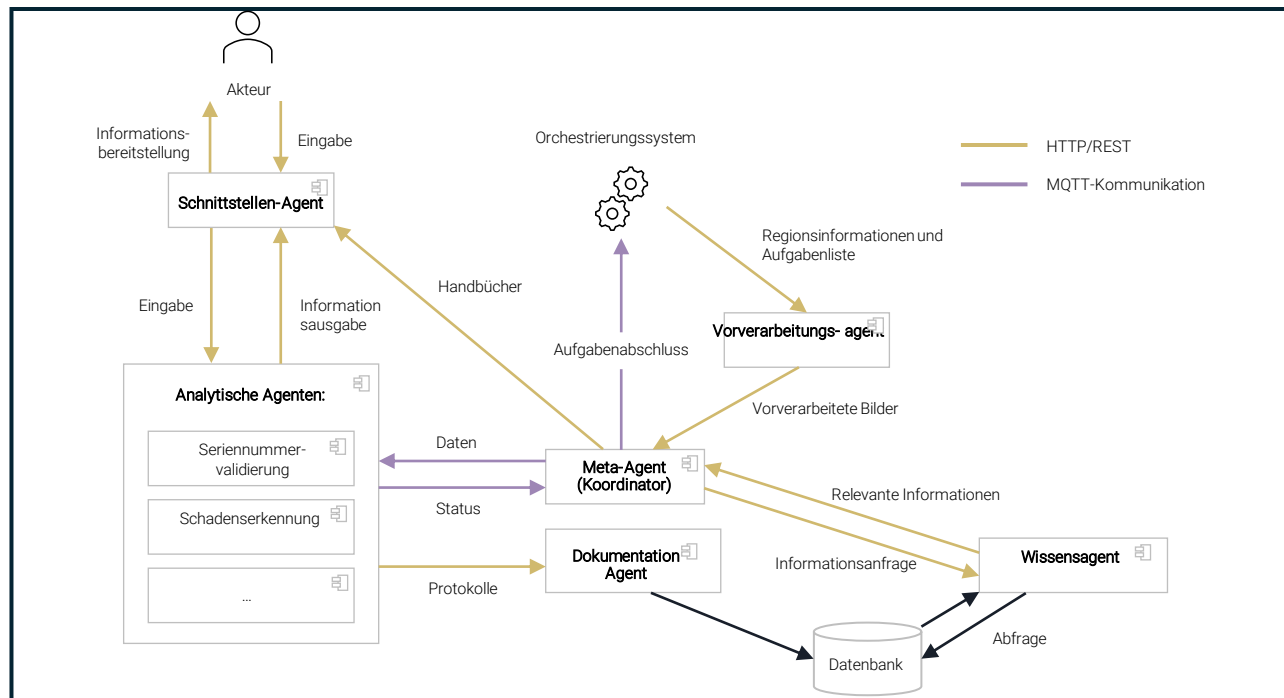
Seriennummervalidierung

HERAUSFORDERUNG

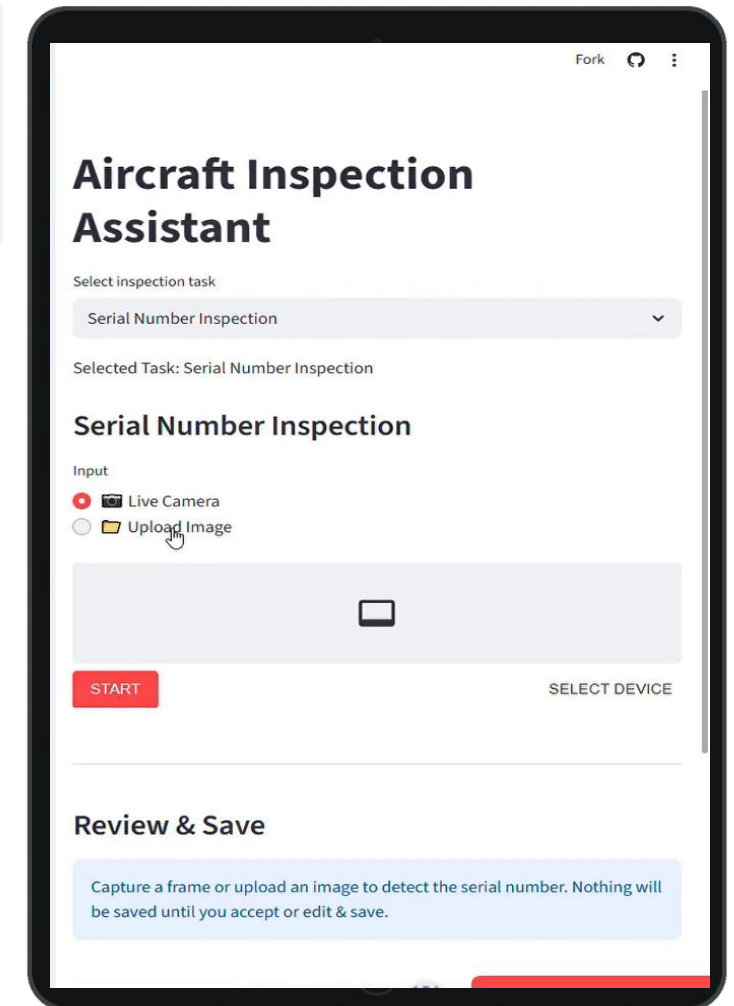
- Der Inspektionsprozess setzt sich aus verschiedenen Einzelaufgaben zusammen, die jeweils unterschiedliche Tätigkeiten erfordern.

PROOF OF CONCEPT

- Ein Multi-Agenten-System wurde auf Grundlage eines Literaturreviews entwickelt und anhand der Seriennummernerkennung erprobt.



Masterarbeit – Markus Gurschler



Ansatz: PaddleOCR + GPT4

AKTUELLER PROZESS



Vor-Ort-Inspektion:

- Anreise zum Standort erforderlich
- Zeitaufwändiges Verfahren
- Hohe CO2-Emissionen



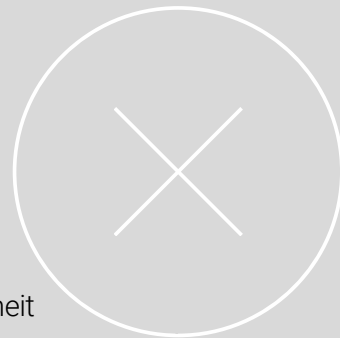
Hohe Wissensanforderungen:

- Gesetze und Vorschriften
- Handbuch
- Wartungsberichte



Subjektive Inspektionen:

- Kein standardisierter Prozess
- Persönliche Voreingenommenheit
- Fehleranfällig



ZUKÜNFTIGER PROZESS



AR-gestützte Inspektionen:

- Das Personal für Lufttuchtigkeitsprüfungen nimmt digital an der Inspektion teil.
- Inspektionen können schnell und ressourceneffizient durchgeführt werden.



Wissensmanagement:

- Textdaten werden in das System integriert und können für die Entscheidungsfindung herangezogen werden.



Standardisierter Prozess auf Basis multimodaler Daten:

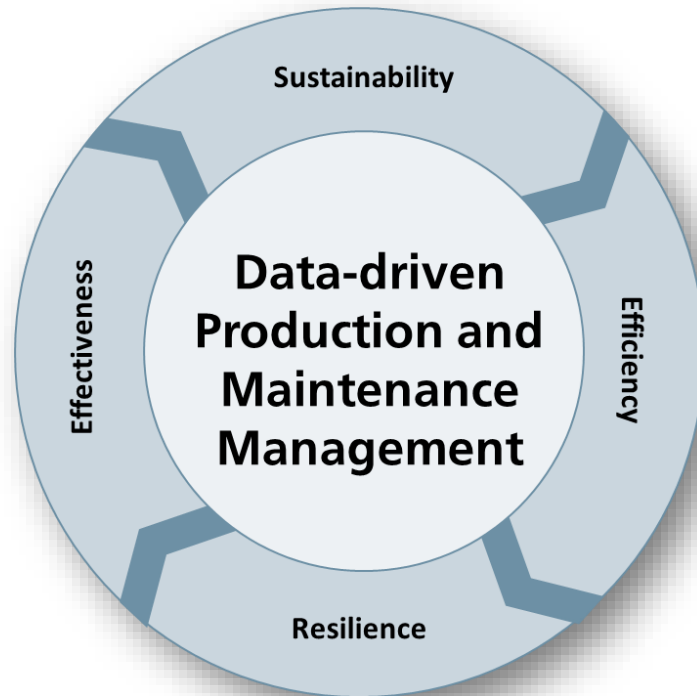
- Bilddaten dienen der Anomalie- und Komponentenerkennung, Textdaten der Wissensintegration.

Mögliche Auswirkung: Einsparungen von 50–70 % bei Zeit und Kosten der Inspektion.










Forschungsbereich Produktions- und Instandhaltungsmanagement (PIM)

Vision: Gestaltung automatisierter und nachhaltiger Produktions- und Anlagenmanagementsysteme



Forschungs- und Innovationsthemen

-  Foundation Models in der Fertigung und industrieller KI
-  Integrative Produktions- und Instandhaltungsplanung inkl. Energie- und Logistikfaktoren
-  Datengesteuerte Produktivitätsoptimierung – OEE (Overall Equipment Effectiveness)
-  Instandhaltung für eine nachhaltige Produktion und Anlagenverwaltung (Verlängerung der Restnutzungsdauer)
-  Nachhaltige Instandhaltung, Ressourcen- und Prozesseffizienz sowie Abfallmanagement
-  Integration von Nachhaltigkeitsfaktoren in die OEE hin zu OSEE (OEE x Nachhaltigkeit)
-  Datengetriebene Logistik und technologiegestützte Anlagenoptimierung

Hauptbranchen: Halbleiterfertigung, Automobilindustrie, Pharmazeutische Industrie, Eisenbahnsektor



<https://www.tuwien.at/en/mwbw/im/ie/pim>

Zukunft der Luftfahrtwartung: KI- und AR-basierte-Remote- Inspektionen



Lukas Rapp

(Celairion GmbH, Airworthiness
Review Manager)

Andreas Steiner

(TU Wien, Wissenschaftlicher
Mitarbeiter)