

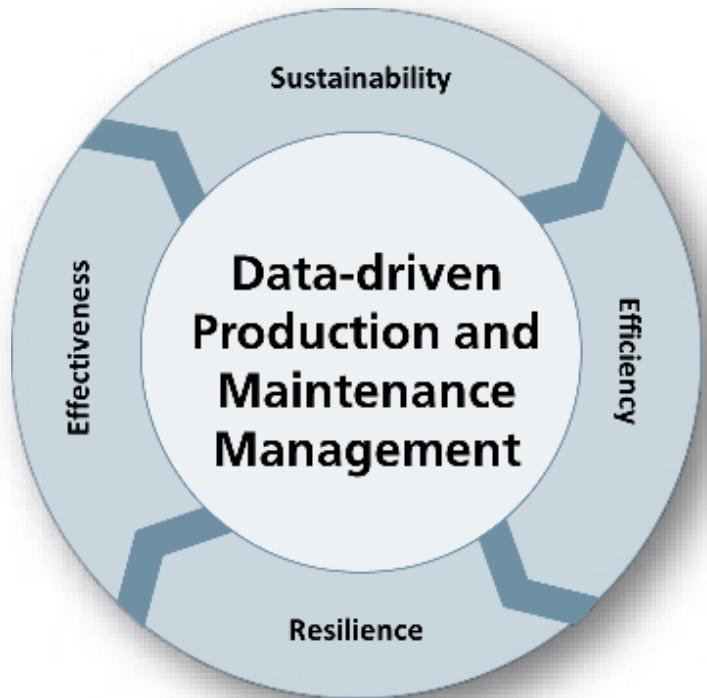


# Predictive Maintenance

## Dipl.-Ing. Andreas Steiner

# 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>



# Prädiktive Instandhaltung

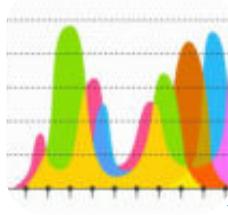
## Instandhaltung im Wandel der Zeit



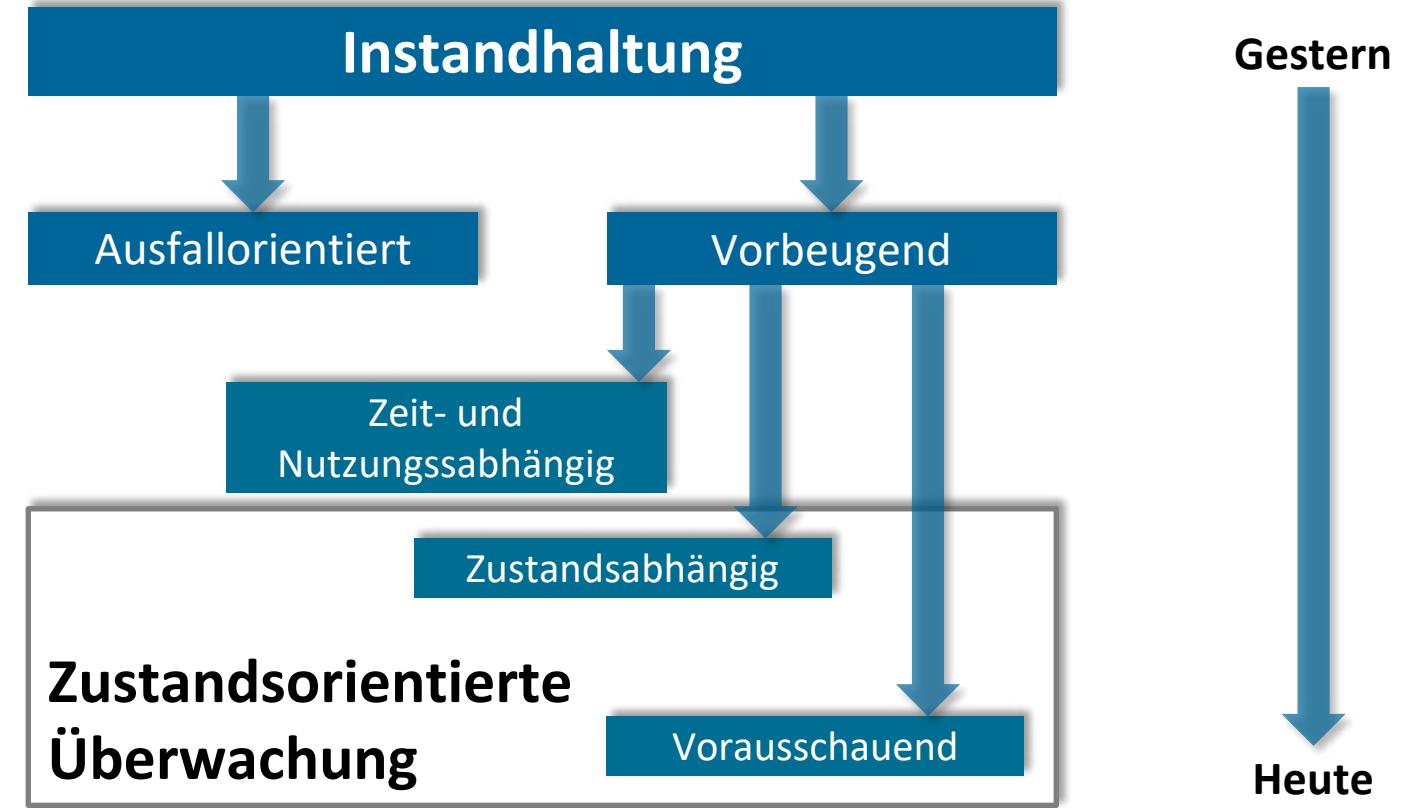
Reaktive Instandhaltung:  
Anlagen bis zum Ausfall  
laufen lassen



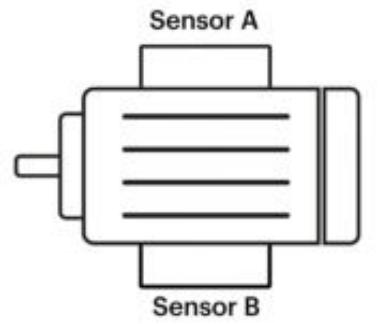
Vorbeugende  
Instandhaltung: Probleme  
verhindern, bevor sie  
auftreten



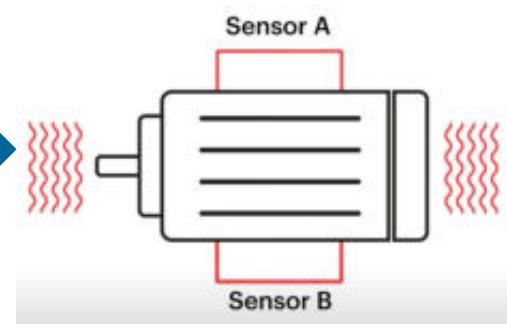
Vorausschauende  
Instandhaltung: Probleme  
vorhersagen, um die  
Zuverlässigkeit der Anlagen  
zu erhöhen



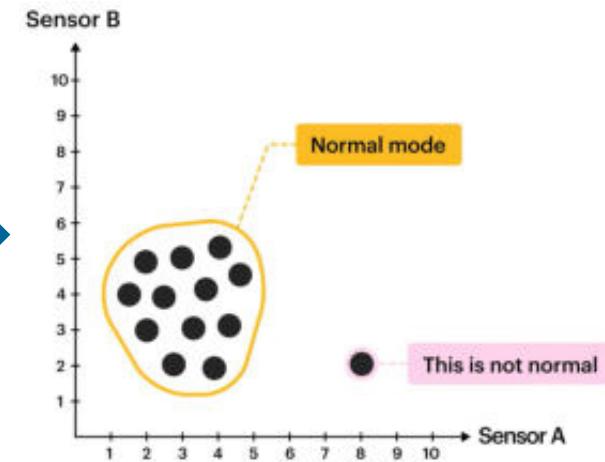
Die vorausschauende (prädiktive) Instandhaltung nutzt Daten und Sensoren, um vorherzusagen, wann Maschinen ausfallen werden, sodass Reparaturen durchgeführt werden können, bevor es zu Ausfällen kommt.



**Maschine**  
Ausstattung mit  
Sensoren  
(Nachrüstung)



Die Maschine in  
betriebsfähigem Zustand  
halten



Erfassung von Datenpunkten



**Analyse**  
Zustandsüberwachung  
(zustandsbasierte oder  
vorausschauende  
Instandhaltung)

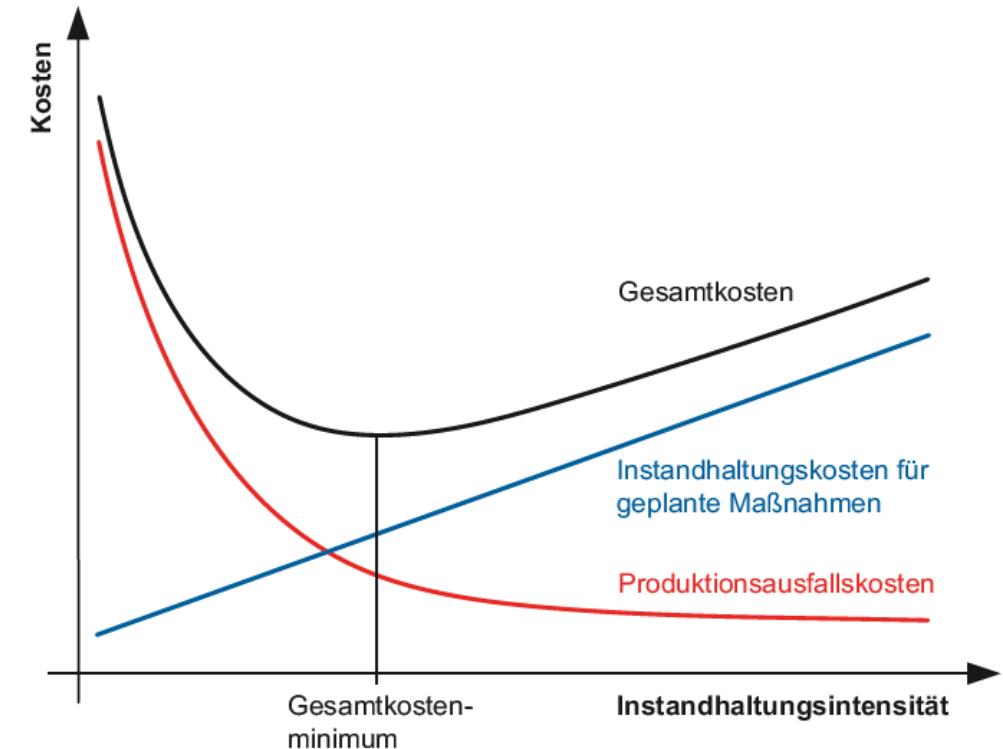
<https://www.youtube.com/watch?v=BApzsqq32mM>



# Prädiktive Instandhaltung

## Kosten bei einem Ausfall

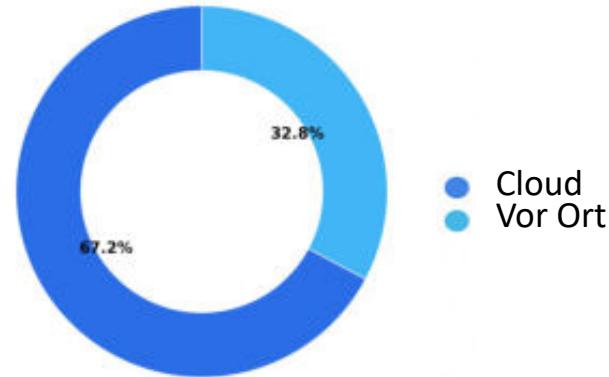
- Welche Kosten entstehen bei einem Ausfall wirklich?
  - Entgangene Deckungsbeiträge (Gewinne) auf dieser Anlage
  - Reduzierte Gesamtausbringung (Gesamtanlageneffizienz)
  - Folgekosten (Vertragsstrafen usw.)
  - Erhöhte Instandsetzungsaufwendungen
- Was sind KEINE Ausfallkosten?
  - Stundensätze der stillstehenden Maschinen



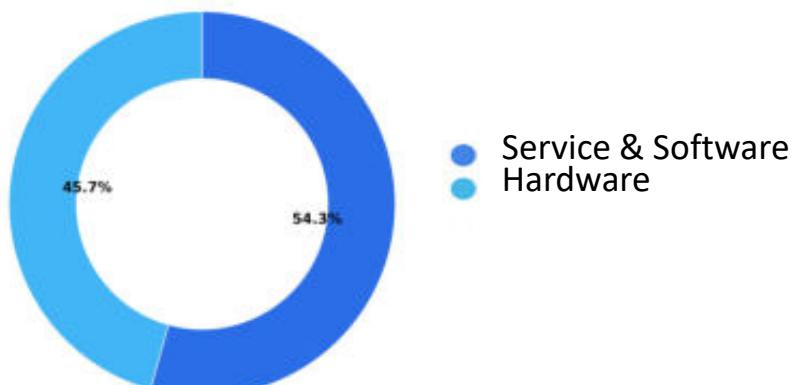
# Prädiktive Instandhaltung

## Aktuelle Situation

Marktanteil nach Einsatz, 2024

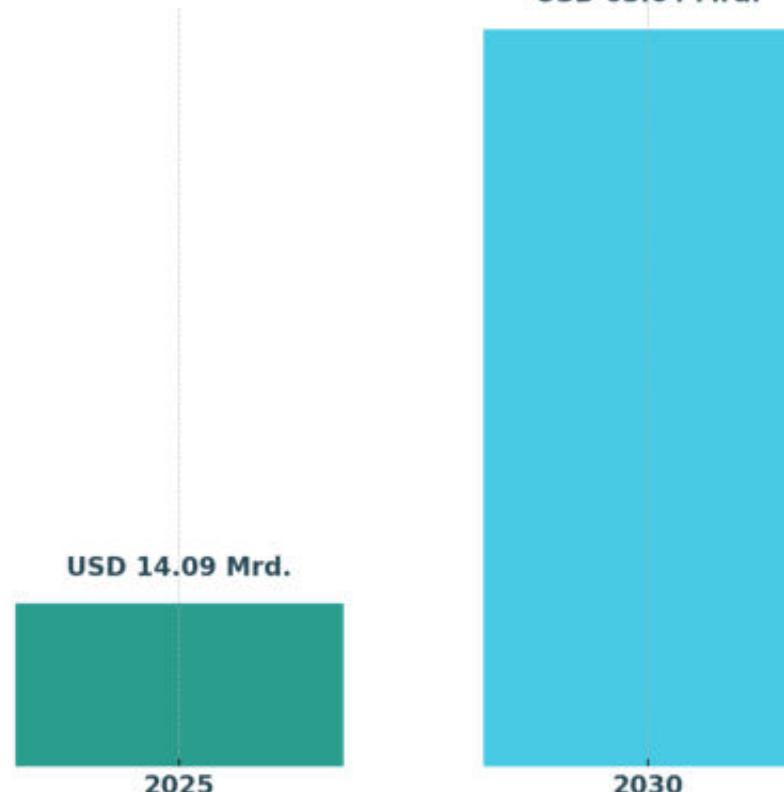


Marktanteil nach Art, 2024



Marktvolumen in Mrd. USD

CAGR 35.20%



Quelle: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/predictive-maintenance-market#:~:text=Der%20Markt%20f%C3%BCr%20vorausschauende%20Wartung%20wird%20auf%20USD%20gesch%C3%A4tzt,die%20industrielle%20Digitalisierung%20beschleunigen%20gemeinsam%20den%20Einsatz%20in%20verm%C3%B6gensintensiven%20Sektoren.>



# Prädiktive Instandhaltung Bahnindustrie



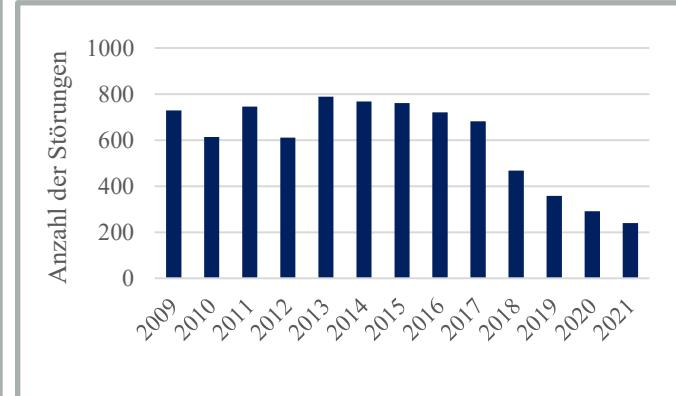
## WIN | Wissensbasierte Optimierung des Flotten- und Asset-Managements

### Forschungsziele

- Verbesserung des U-Bahn-Flottenmanagements durch Integration multimodaler Daten für datengetriebene Analysen von Ausfallfaktoren, um die Abhängigkeit von Expertenwissen zu reduzieren und daten- sowie wissensbasierte Wartung zu unterstützen.
- Entwicklung eines dynamischen wissensbasierten Modells zur Abbildung von Fahrzeugdaten, Fehlern, RAMS und LCC.
- Simulation der Flotteneinsätze und Wartungsoptimierungen zur Bewertung ihrer Auswirkungen auf Leistung und Kosten.

### Problemstellung

- Begrenzte Möglichkeiten zur weiteren Reduktion von Störungen bereits erreicht
- Spannungsfeld zwischen Sicherheit, Zuverlässigkeit und Kosten
- Unbenutzte Fahrzeugdaten aus neuen Flotten
- Generationenwechsel



**Beitrag:** Wissensbasierte Wartung, Datenanalyse, CRISP-DM, Predictive Modeling & Machine Learning

Partner &  
Förderung



# Forschungsprojekt WIN (2023-2027)

## Anwendungsfall

### Wiener U-Bahn V-Zug



- Erstmalige Inbetriebnahme 2000-2001
- Durchgängiger Zug mit 6-Wagen-Aufbau
- Flottengröße: 61 Gesamtzüge
- Länge eines Zuges: 111 Meter gekoppelt

### Druckluftsystem



Systeme	Bedarf
Druckluftsystem	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Höchster Prozentsatz der V-Zug Störungen</li><li>▪ Sicherheitsrelevant</li></ul>
Antrieb-/Bremssystem	
Spannungsversorgung	
...	

Funktion
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ 2 Kompressoren pro V-Zug (je Fahrtrichtung)</li><li>▪ Druckbereich: 6,5 – 8 bar</li></ul>

### Basis für die Optimierung in Richtung einer prädiktiven und wissensbasierten Instandhaltung

#### 1. Asset-Information:

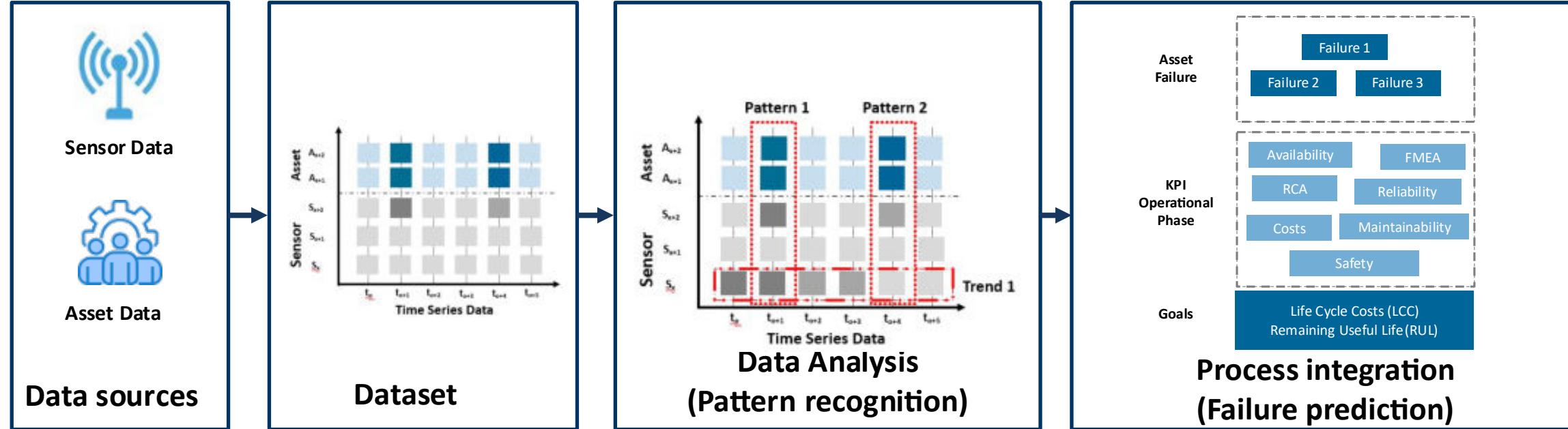
über Funktion, Instandhaltung & historische Eingriffe

#### 2. Sensordaten:

Aufzeichnung von Fahrzeugdaten im Fahrbetrieb: 5 Züge & +2 Jahre

Helmer, M. (2021). Ein V-Zug kurz vor der U2-Station Donaumarina. Abgerufen von <https://bildstrecke.at>.

### Actual condition: 152 compressed air malfunctions (entire fleet)

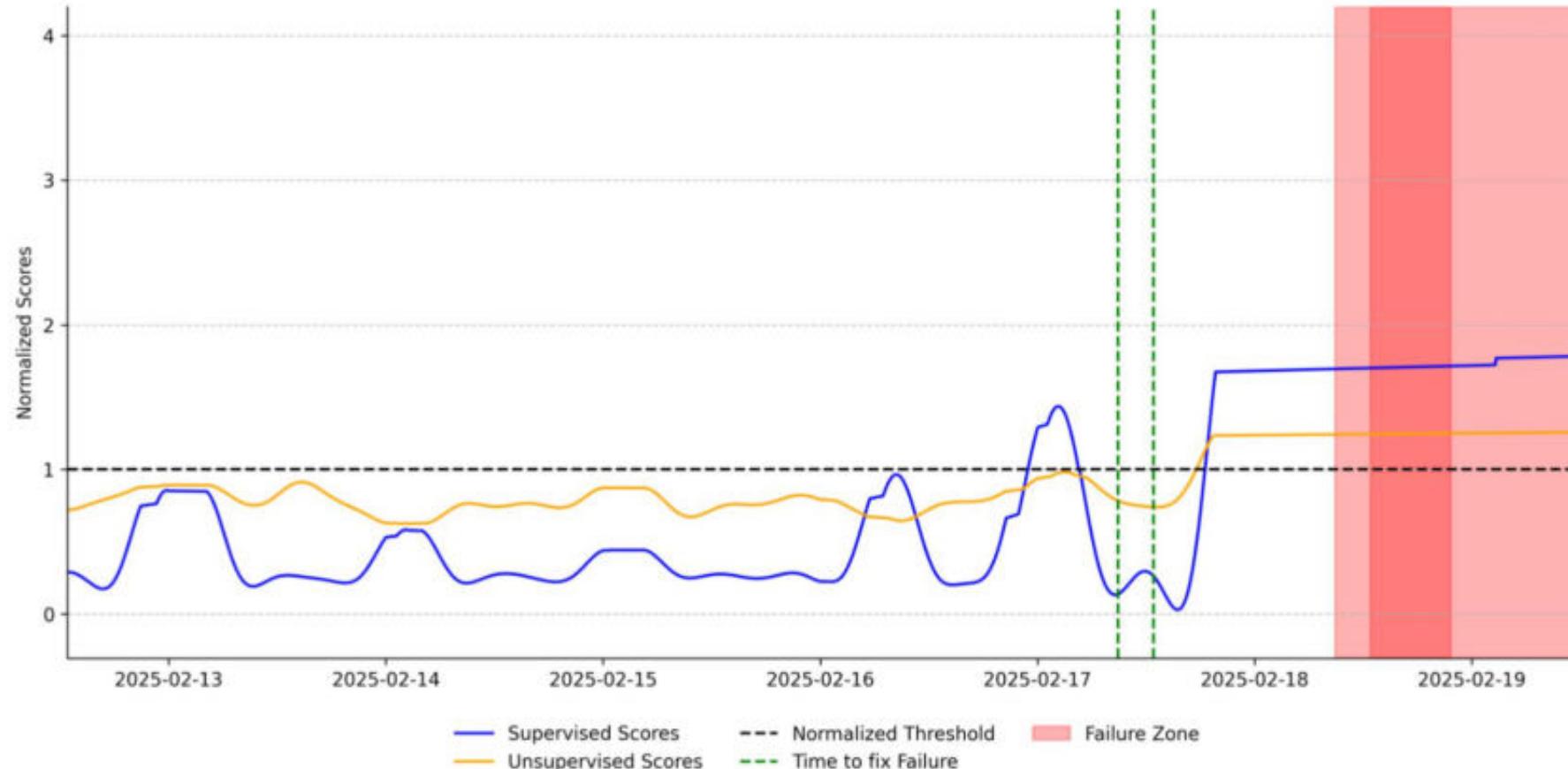


### Target condition : 91 compressed air malfunctions (entire fleet)

Steiner, A., Abdelkader, O., Ansari, F., Kollegger, A. (2024). Datengetriebene Instandhaltung von Schienenfahrzeugen im öffentlichen Personennahverkehr: Wissensbasierter Ansatz zur Auswahl und Analyse operativer Sensordaten. In Digital Excellence in der Instandhaltung: Strategien für Ihren Unternehmenserfolg (S. 95–111). Köln: TÜV-Verlag.

# Forschungsprojekt WIN (2023-2027)

## Ergebnisse



Masterarbeit TU Wien – Stefan Helm



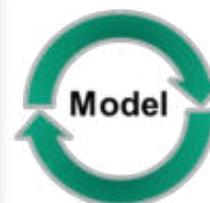
# Prädiktive Instandhaltung Digitaler Zwilling



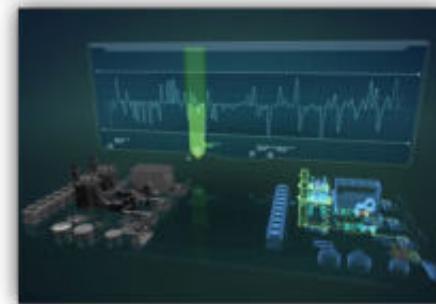
# Anwendungsbeispiele für die zukünftige KI-basierte Wartung

## Digitaler Zwilling

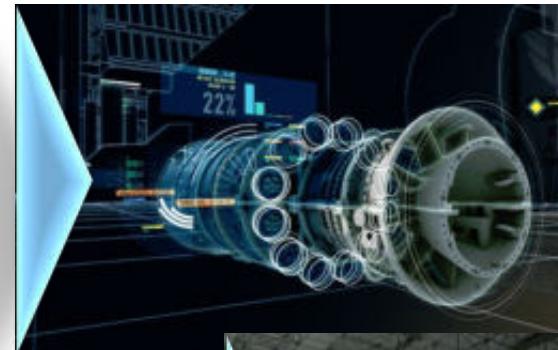
Ein digitaler Zwilling kann dabei helfen, Informationen über Struktur, Kontext und Verhalten von Teilen, Produkten und Systemen zu erhalten



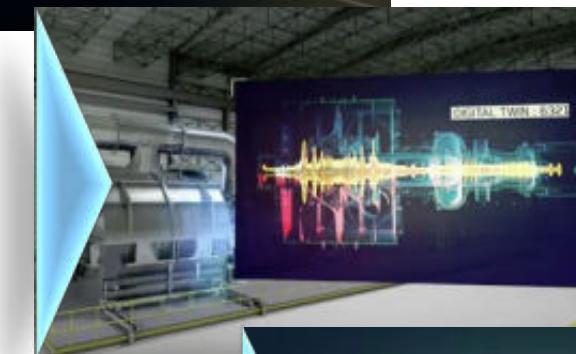
Quelle: General Electric (GE)



- **Digitales Modell** = *Virtuelle Darstellung eines Systems*
- **Digitaler Schatten** = *Verwendung von Echtzeitdaten, z. B. für eine Simulation*
- **Digitaler Zwilling** = *Rückkopplungsschleife zwischen virtuellem und realem System*
- **Simulieren und steuern Sie den Einfluss von Vorgängen auf die Restlebensdauer (RUL) von Komponenten**



**Teilezwillinge**



**Produktzwillinge**



**System  
Zwillinge**

# Digitaler Zwilling in der Instandhaltung

Beispiel: Vorausschauende Wartung

## Problem

- Hochkomplexe Maschinen müssen überwacht und gewartet werden, um unerwartete Ausfälle zu vermeiden.

## Ziel

- Reduzierung der Wartungskosten und Erhöhung der Maschinenverfügbarkeit

## Lösung

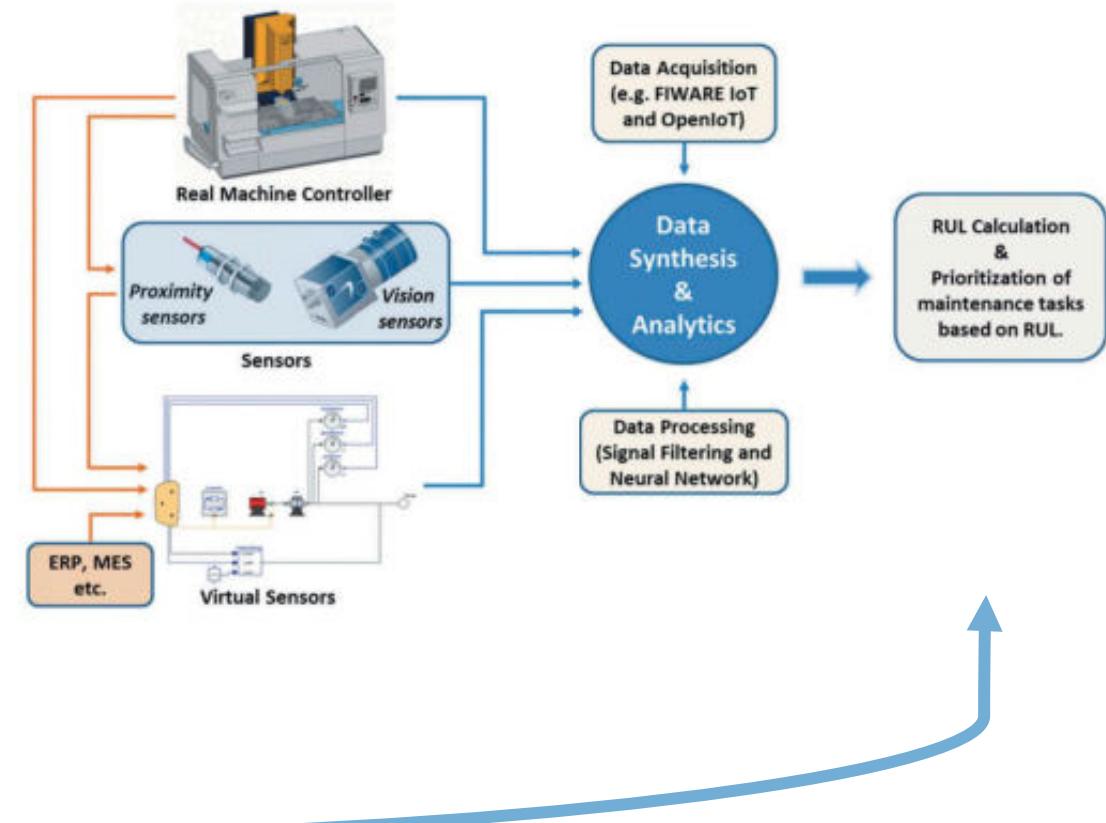
- Proaktive Wartung der Maschinen anstelle von Reparaturen nach Ausfall

## Methode

- Verwendung von Digital Twin zur Berechnung der Restlebensdauer (RUL) von Maschinen und Anlagen

## Digital Twin

Integriert Daten von Maschinensteuerungen, Sensoren und virtuellen Sensoren der mathematischen Darstellung, um die RUL vorherzusagen (**automatische Berechnung der RUL**)



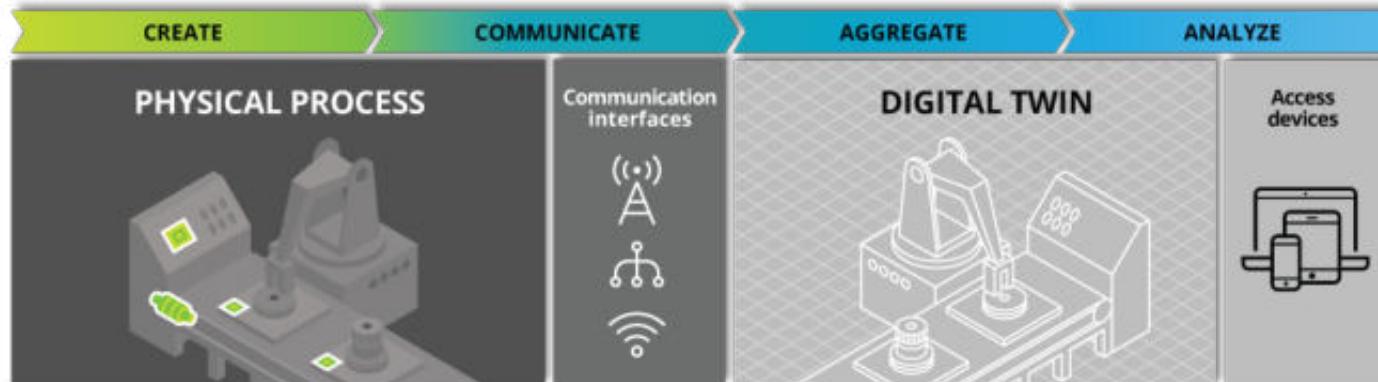
Quelle: P. Aivaliotis, K. Georgoulas & G. Chryssolouris (2019) Der Einsatz von Digital Twin für die vorausschauende Wartung in der Fertigung, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 32:11, 1067-1080

# Digital Twin (DT) in Fertigung und Wartung

DT im Lebenszyklusumfeld

## Digitaler Zwilling nach der Industrie 4.0-Plattform

„Ein digitaler Zwilling ist die digitale Darstellung eines [...] Produkts [...] innerhalb eines einzelnen Lebenszyklus oder über verschiedene Lebenszyklen hinweg unter Verwendung von Modellen, Informationen und Daten.“



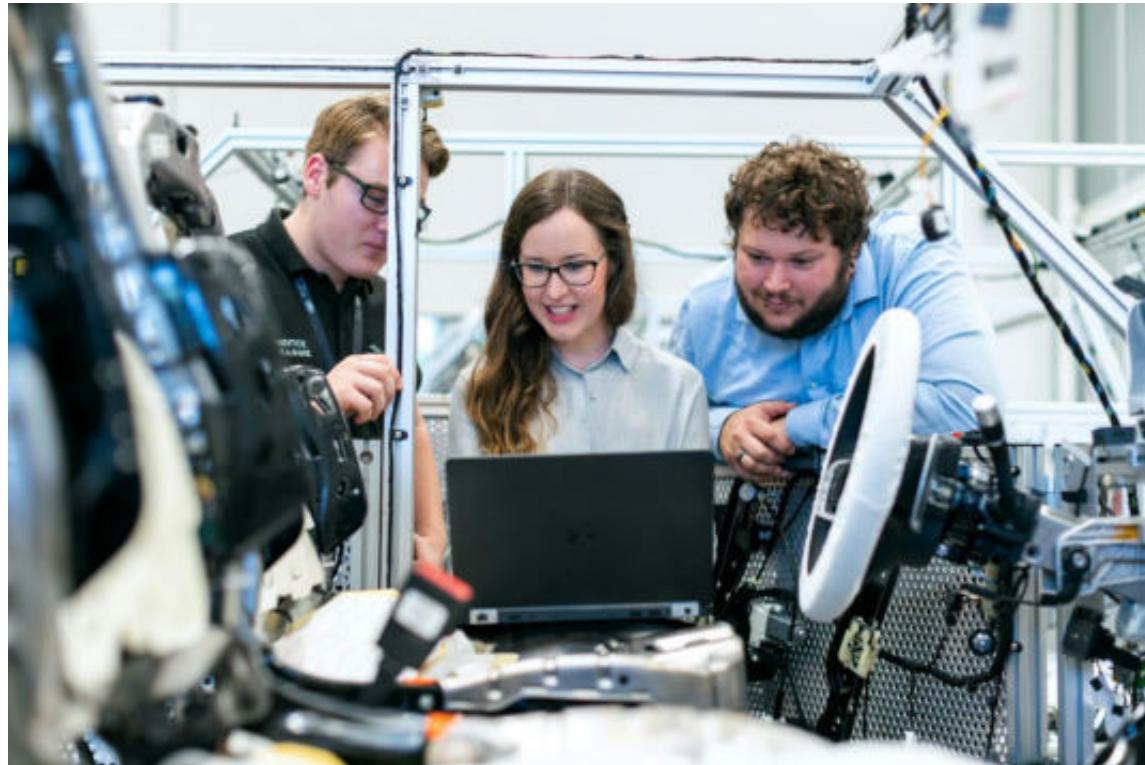
<https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/industry-4-0/digital-twin-technology-smart-factory.html>



<https://omundodausinagem.com.br/digital-twin-e-realidade-aumentada/>



# Prädiktive Instandhaltung Automobilindustrie



## Wichtige Fakten

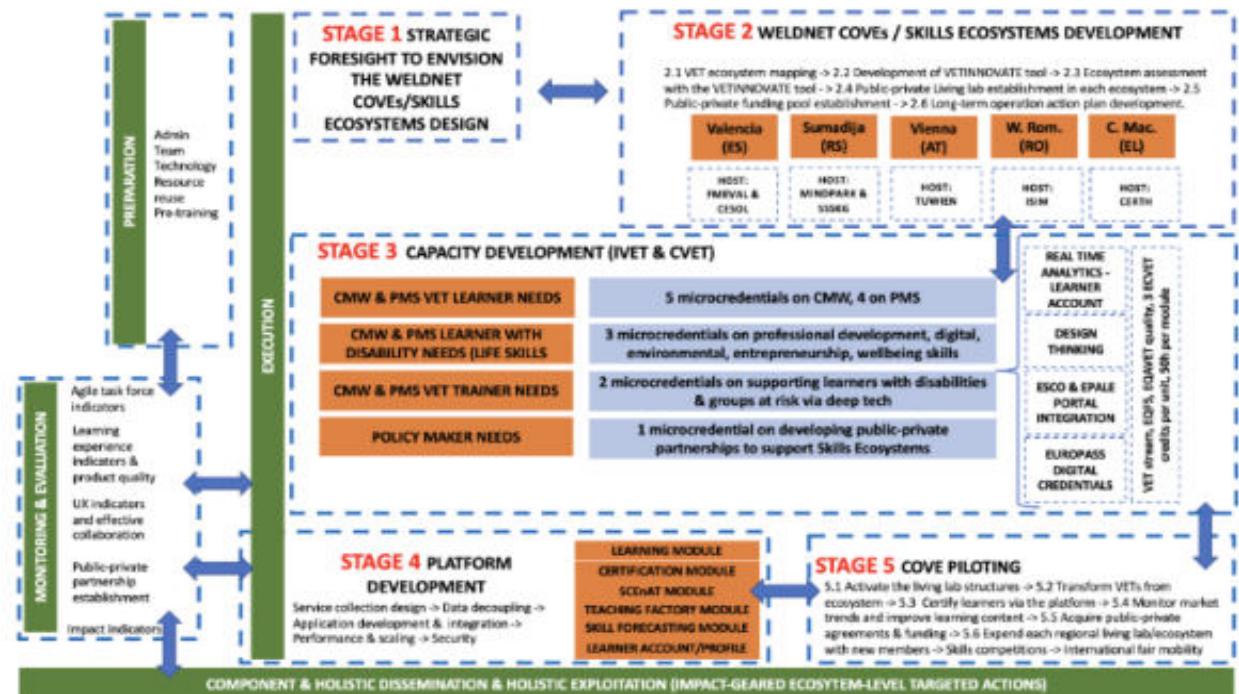
- Aufbau eines Netzwerks von fünf Centres of Vocational Excellence (COVEs) Manufacturing, um den kritischen Fachkräftemangel in den Bereichen zirkuläres Materialschweißen (CMW) und vorbeugende Wartungssysteme (PMS) für die europäische Automobilindustrie zu beheben
- Bereitstellung nachhaltiger Weiterbildungsmechanismen (IVET/CVET), um den regionalen Industriebedarf zu decken und gleichzeitig die Inklusion benachteiligter bereichn zu fördern

# Forschungsprojekt WELDNET

 **WELDNET** | Netzwerk integrativer COVEs für zirkuläres Materialschweißen und vorbeugende Wartung für eine sozial sichere, widerstandsfähige und nachhaltige Automobilfertigung

## Forschungsziele

- Einrichtung von 5 Kompetenzökosystemen als regionale VET-Living Labs, die regionale öffentlich-private Partnerschaften unterstützen, die die Zukunft der beruflichen Bildung gestalten
  - Entwicklung einer Zukunftsvision (mittels strategischer Vorausschau) für die fünf COVE
  - Regionale Ökosysteme in Bezug auf die berufliche Bildung durch die Entwicklung eines maßgeschneiderten VETINNOVATE-Tools zu erfassen und zu bewerten
  - Einrichtung öffentlich-privater Living Labs als Basis für jedes COVE
  - Entwicklung von Mehrwertdiensten und Sicherung der langfristigen Nachhaltigkeit



## Partner & Förderung



Co-funded by the  
Erasmus Programme  
of the European Union





# Prädiktive Instandhaltung Luftfahrt

# Forschungsprojekt A3R (2024-2025)

## Überblick



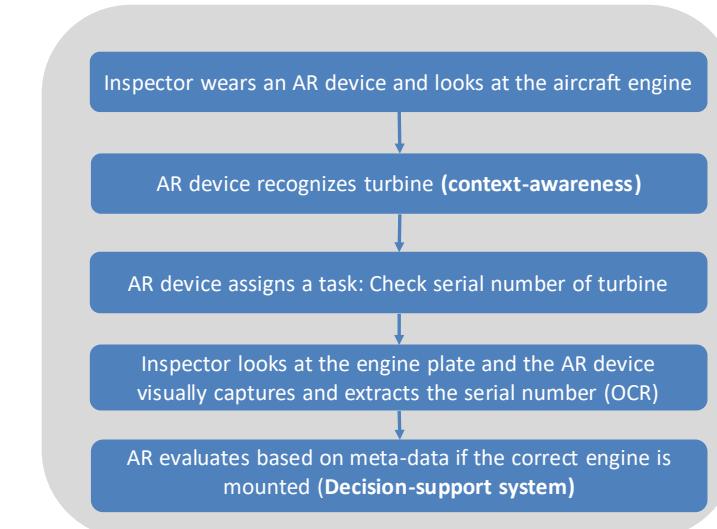
## A3R | Augmented Reality and Artificial Intelligence for Enhanced Aircraft Inspection

### Research Objectives

- Augmented Reality (AR)-Systeme, wie die Microsoft HoloLens 2, können durch Künstliche Intelligenz (KI) erweitert werden, um intelligente Entscheidungsunterstützungs-Tools zu schaffen.
- Durch die Analyse von Bildern von Metallplatten zusammen mit zugrundeliegenden Textdaten, wie z. B. einer Liste korrekt installierter Teile, können diese Systeme automatisch das Ausmaß und das Auftreten von Schäden bewerten.

AR, unterstützt durch KI, kann als Entscheidungsunterstützungssystem dienen, indem es Probleme identifiziert und potenzielle Lösungen aufzeigt.

**Beitrag:** Wartungsinspektionen, Augmented Reality, CRISP-DM, Entscheidungsunterstützungssystem und maschinelles Lernen



### Partner

# Forschungsprojekt A3R (2024-2025)

## Anwendungsfall - Serialnummernüberprüfung

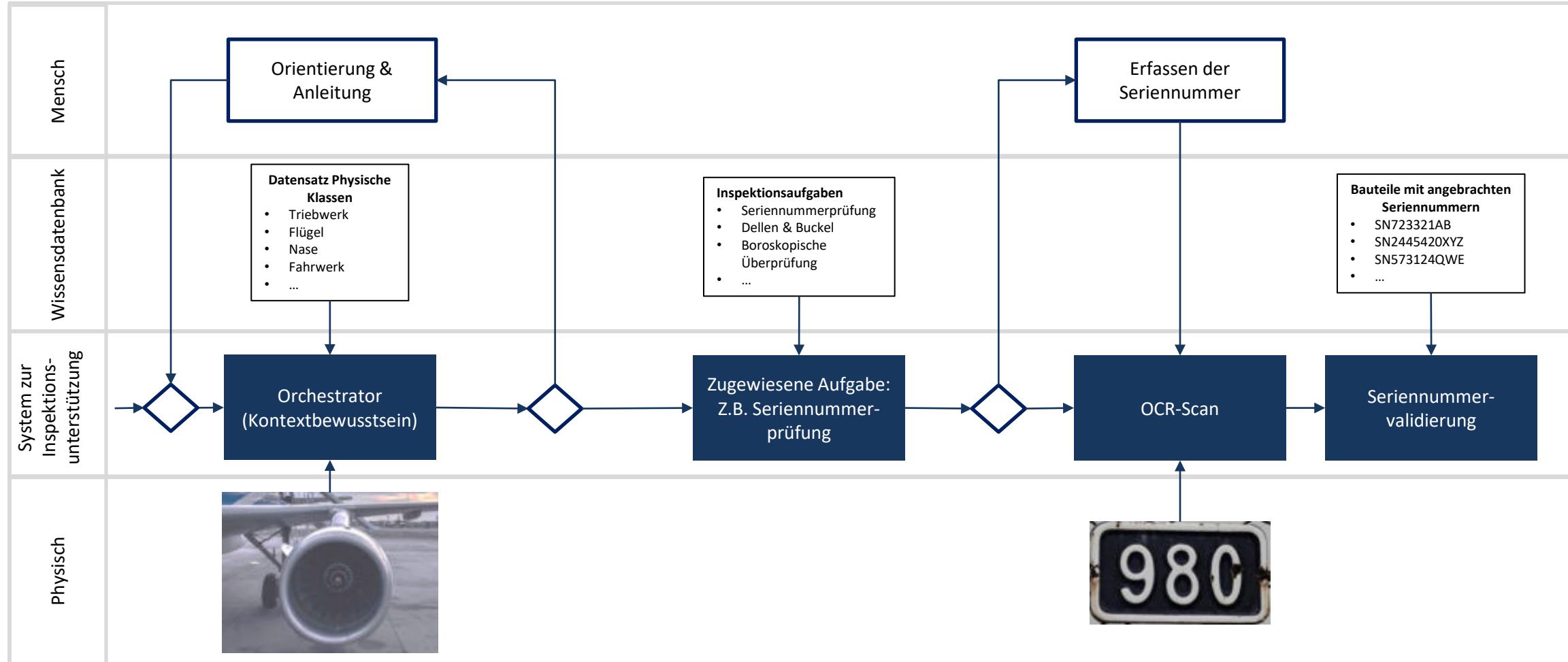


AI PRODUCTION

EDIH European Digital Innovation Hubs

CEL ARION

INSTITUTE OF  
MANAGEMENT SCIENCE  
University of Production and Management



# Forschungsprojekt A3R (2024–2025)



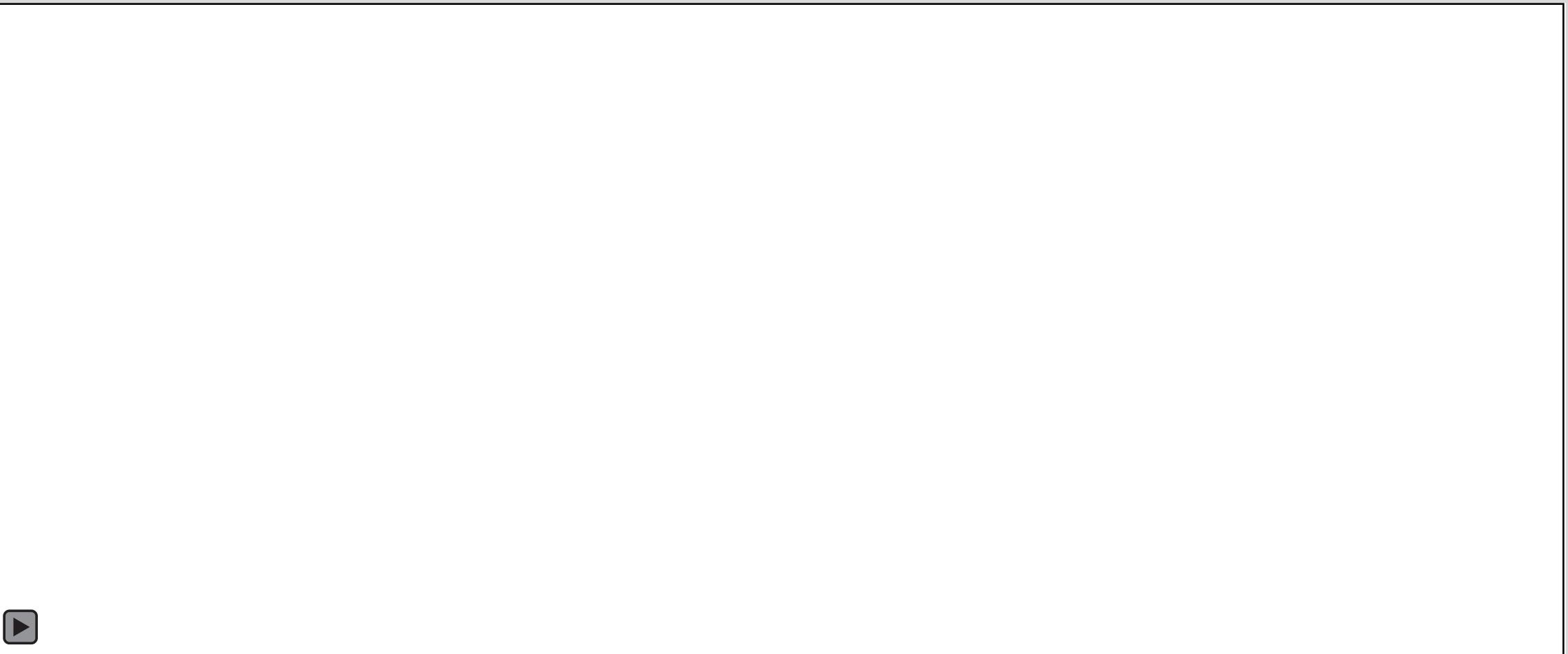
Anwendungsfall – Objekterkennung am Flugzeug

AI 5 PRODUCTION

EDIH European Digital Innovation Hubs

CEL AIRION

INSTITUTE OF  
MANAGEMENT SCIENCE  
WU Vienna University of Economics and Business  
Management of Production and Maintenance



Masterarbeit TU Wien – Florian Gombotz

02.10.2025

© TU Wien, Forschungsbereich Produktions- und Instandhaltungsmanagement

22

# Forschungsprojekt A3R (2024–2025)

## Ausblick



### A3R | Augmented Reality und künstliche Intelligenz für verbesserte Flugzeuginspektionen

#### Aktueller Prozess



##### Vor-Ort-Inspektion:

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



##### Hohe Wissensanforderungen:

- Gesetze und Vorschriften
- Wartungshandbuch
- Wartungsberichte



##### Subjektive Inspektionen:

- Kein standardisierter Prozess
- Persönliche Voreingenommenheit
- Fehleranfällig

#### Zukünftiger Prozess



##### AR-gestützte Inspektionen:

- Die Mitarbeiter für die Lufttüchtigkeitsprüfungen nehmen digital an der Inspektion teil.
- Inspektionen können schnell und ressourceneffizient durchgeführt werden.



##### Wissensmanagement:

- Textdaten können für die Entscheidungsfindung herangezogen werden.

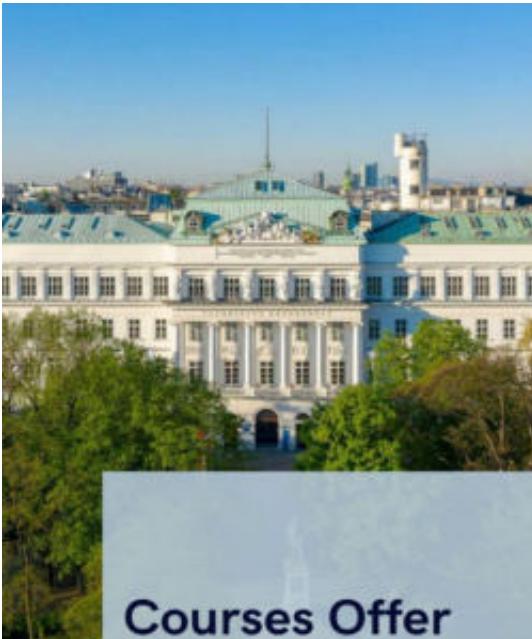


##### Standardisierter Prozess auf Basis multimodaler Daten:

- Bilddaten werden zur Erkennung von Anomalien oder Komponenten verwendet

# Unsere Dienstleistungen

## Kurse für Data Science



**Courses Offer**  
Digitalization,  
Data Science and  
AI

**TU** **Wien**  
INSTITUTE OF  
MANAGEMENT SCIENCE  
Research Unit of Production and Maintenance  
Management

### What We Offer



#### Crash Course

One-day, hands-on course provides executives and industry professionals with a practical introduction to AI, focusing on interactive discussions, real-world applications, and group exercises.



#### Deep Dive

Two-day workshop provides a strategic understanding of AI, covering data quality, governance, predictive analytics, and AI-driven decision-making. Executives learn to align AI with business goals and drive measurable impact.



#### Coaching

Tailored to your needs—whether you need guidance on a specific challenge or cutting-edge insights, we apply our expertise directly to your problem!

### Previous Courses



#### DHK

Workshop on Industrial AI applications for Industrial Executives of Austria.



#### Porsche

Two day interactive workshop on industrial data science and AI applications for MBA students from Porsche.



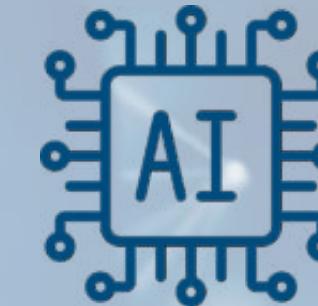
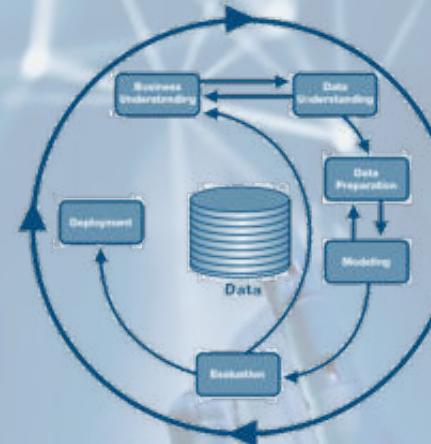
# Industrial Data Science



DATENANALYSE



VORAUSSCHAUENDE  
INSTANDHALTUNG



KÜNSTLICHE INTELLIGENZ



MASCHINELLES  
LERNEN



*Technology for People!*



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology



INSTITUTE OF  
MANAGEMENT SCIENCE  
Research Unit of Production and Maintenance  
Management



**Dipl.-Ing. Andreas Steiner**

**Wissenschaftlicher Mitarbeiter; Doktorand**  
Produktions- und Instandhaltungsmanagement  
Institut für Managementwissenschaften, TU Wien

**Data Scientist**  
Celairion GmbH

E-Mail: [andreas.steiner@tuwien.ac.at](mailto:andreas.steiner@tuwien.ac.at) ; [asteiner@celairion.aero](mailto:asteiner@celairion.aero)