

# TAGUNGSBAND

26. März 2025

„Auf zu neuen Horizonten“  
Mit KI grenzenlos denken und  
gemeinsam handeln

**Info**  
INSTANDHALTUNGS  
FORUM 2025



HERAUSGEBER:  
UNIV.-PROF. DR. HABIL. DR. H.C. MICHAEL HENKE

**LFO**  
UNTERNEHMENSLOGISTIK

 **Fraunhofer**  
IML



„AUF ZU NEUEN HORIZONTEN“  
MIT KI GRENZENLOS DENKEN UND GEMEINSAM  
HANDELN

# **TAGUNGSBAND**

26. MÄRZ 2025

LEHRSTUHL FÜR UNTERNEHMENSLOGISTIK  
DER TU DORTMUND  
UND  
FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR MATERIALFLUSS  
UND LOGISTIK IML

Univ.-Prof. Dr. habil. Dr. h.c. Michael Henke (Hrsg.)  
Tagungsband des 21. InstandhaltungsForums

© Copyright 2025 by  
Technische Universität Dortmund  
Lehrstuhl für Unternehmenslogistik  
Leonhard-Euler-Straße 5  
44227 Dortmund

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei  
den Autoren.

Die Veröffentlichung erfolgt unter der CC-BY-SA Lizenz.



Projektteam:

Daniel Hefft

Jonas Eichholz

Dr. Michael Wolny

Dr.-Ing. Nick Große

Bild (Deckblatt): © greenbutterfly/AdobeStock

DOI: 10.17877/DE290R-25408

## Vorwort

Technologische Fortschritte wie künstliche Intelligenz und datengestützte Analysen sind entscheidend, um proaktive Instandhaltungsansätze zu fördern und dem bestehenden Fachkräftemangel entgegenzuwirken. Dies ermöglicht nicht nur eine Effizienzsteigerung, sondern stellt auch die Weichen für eine zukunftsfähige und belastbare Instandhaltung. Der notwendige Digitalisierungsgrad, um KI effizient nutzen zu können, ist jedoch vielfach noch nicht vollständig gegeben. Zudem gibt es noch viele offene Fragen, für welche Anwendungen KI in der Instandhaltung sinnvoll eingesetzt werden kann und welche Grundlagen hierfür geschaffen werden müssen.

Am 26. März 2025 fand das 21. InstandhaltungsForum in Dortmund daher mit einem besonderen Fokus auf KI statt. Auch in diesem Jahr trafen sich hierzu zahlreiche Expertinnen und Experten aus der Instandhaltungsbranche, um über aktuelle Herausforderungen und zukunftsweisende Lösungen zu diskutieren. Das Forum bot ein abwechslungsreiches Programm mit informativen Vorträgen. Renommiertere Referentinnen und Referenten teilten ihr Wissen zu Themen wie Predictive Maintenance, datengestützte Entscheidungsfindung und Einsatzmöglichkeiten von KI. Vortragende aus verschiedenen Unternehmen ermöglichten wertvolle Einblicke in die Best Practices, während Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die aktuelle Forschungslandschaft aufzeigten. In den Networking-Pausen konnten sich die Teilnehmer untereinander austauschen und wertvolle Kontakte knüpfen.

Mein besonderer Dank gilt allen Referentinnen und Referenten sowie den Organisatoren des Forums für ihren wertvollen Beitrag zu dieser gelungenen Veranstaltung. Ich wünsche Ihnen viel Freude bei der Lektüre dieses Tagungsbandes!



Univ.-Prof. Dr. Dr. h.c. Michael Henke

(Leiter Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik & Leiter des Lehrstuhls für Unternehmenslogistik der TU Dortmund)

## Inhaltsverzeichnis

Wissenstransfer im Maschinenservice – Warum das KI-basierte Auslesen von Dokumenten das Problem nicht löst, und was stattdessen hilft.....	1
Fachkräftemangel meistern: Prozessstandardisierung als Schlüssel zu KI-gestützter Instandhaltung .....	8
In der modernen Industrie wird Nachhaltigkeit zunehmend als zentrales Ziel angesehen, das nicht nur ökologische Vorteile bietet, sondern auch langfristig wirtschaftliche Effizienz und Wettbewerbsfähigkeit sicherstellt.....	16
Von alten Hasen lernen: Methoden und Technologien für einen KI-gestützten Erfahrungstransfer .....	20
Die Rolle des Vertrauens in datenverarbeitenden Diensten für den technischen Service am Beispiel der Instandhaltung .....	26
Adaptives Lernen als Instrument zur Nachwuchssicherung in MINT-Studiengängen	32
Industrial Metaverse und Extended Reality (XR): Anwendungen in Unternehmensnetzwerken und intelligenter Instandhaltung .....	42
Instandhaltung in der Luftfahrt und im Schienenverkehr – Trends und Synergien ...	48
Optimierte Produktion durch Synchronisation von Instandhaltung und MES: Auswahlstrategien für zukunftssichere Fertigungssysteme .....	57
Der Weg zur „Unbreakable Plant“: Die Herausforderung der Verfügbarkeit und des Verschleißmanagements .....	64
Übertragbarkeit KI-basierter Chatbots für das Wissensmanagement in der Instandhaltung und einhergehende Potentiale .....	72
Nachhaltige Methode der Reinigung verschmutzter Oberflächen mit flüssigen Reinigungsmitteln in der Industrie – Erfahrungen .....	78
Roadmapping-Prozesse in der Instandhaltung.....	86

# Wissenstransfer im Maschinenservice – Warum das KI-basierte Auslesen von Dokumenten das Problem nicht löst, und was stattdessen hilft

Sina Volkmann

(CEO & Co-Founder, FINDIQ GmbH): „Sina hat in ihrer Vergangenheit schon viele Industrieunternehmen digitalisiert und weiß, dass neue Softwareprodukte den Anwender begeistern müssen. Bei FINDIQ entfacht sie diese Begeisterung in jedem Dialog, bei jedem Workshop und in der langfristigen Zusammenarbeit mit ihren Kunden.“

## 1. Was bisher getan wurde und warum es nicht funktioniert

Die Relevanz des Wissenstransfers im Maschinenservice ist täglich spürbar. Dies zeigt unter anderem eine Studie der Siemens AG aus dem Jahr 2024, nach der die jährlichen Kosten für Stillstände der größten 500 Betriebe weltweit auf 11 % des Umsatzes gestiegen sind – das entspricht insgesamt 1,4 Milliarden Euro [1]. Um solche Ausfälle zu vermeiden, braucht es Experten, die schnell reagieren können. Diese Experten werden jedoch immer seltener.

Laut einer Studie der RWTH Aachen aus dem Jahr 2023 gehen in Deutschland jährlich 1,3 Millionen Menschen in Rente. Dadurch wird die Zahl der fehlenden Erwerbspersonen bis 2030 auf bis zu 3,1 Millionen steigen [2].

Die Kothes GmbH führte 2023 eine branchenübergreifende Umfrage zur Informationsversorgung im technischen Service durch. Dabei wurde festgestellt, dass die Industrie zwar über hochentwickelte Maschinen verfügt, deren Instandhaltungsprozesse jedoch nicht mehr mit der steigenden maschinellen Komplexität mithalten können [3]. Damit die Servicemitarbeiter mit dieser Entwicklung Schritt halten können, müssen neue Strategien entwickelt werden, um Expertenwissen nachhaltig nutzbar zu machen.

Um Abhilfe zu schaffen, wurden verschiedene Ansätze getestet:

- Dokumentenmanagement wurde eingeführt, um bestehende Inhalte – meist statische PDF-Dateien – in digitaler Form bereitzustellen.
- Die Stammdatenpflege wurde zur „Dauerbeschäftigung“ um die meist unstrukturierte Datenbasis zu bereinigen.
- Der Einsatz von MS Copilot und ähnlichen KI-Verfahren wurde als „Allheilmittel“ auch für technische Fragestellungen betrachtet.

Die Industrie hat viele Maßnahmen ergriffen, doch eines nicht gemacht: effektives Wissensmanagement. Das Wissen liegt nach wie vor in den Köpfen weniger Experten und ist nicht allgemein zugänglich.

Dies stellt die grundlegende Problematik dar:

1. **Daten und Dokumente sind kein Wissen.** Erst die Interpretation von Daten auf Basis langjähriger Erfahrung wird zu Wissen – und dieses Wissen befindet sich größtenteils noch in den Köpfen von Servicetechnikern, Maschinenbedienern und Instandhaltern [4].
2. **Bereitstellen ist kein Transfer.** Viele Techniker bemängeln, dass die Suche in Dokumenten oft unklare, ungenaue oder gar falsche Ergebnisse liefert. Erst durch eine zielgerichtete Schritt-für-Schritt-Anleitung mit der Möglichkeit zur Aktualisierung würden sie sich ausreichend unterstützt fühlen [3].
3. **KI-Verfahren wie Sprachmodelle sind nicht ausreichend präzise,** insbesondere bei technisch komplexen Fragestellungen wie Fehleranalysen. Dabei hätte gerade hier der Wissenstransfer den größten ökonomischen Hebel im Service.



**Abbildung 1:** Sina Volkmann, CEO & Co-Founder FINDIQ GmbH und Michél Ahring, Head of Division Service, Hymmen GmbH Maschinen- und Anlagenbau

## 2. Wie funktioniert Technologiebasierter Wissenstransfer effektiv und zeitgemäß

Wissenstransfer im Allgemeinen beschreibt die Übertragung von Wissen vom Sender auf den Empfänger, sodass der Empfänger befähigt wird, dieses Wissen zu nutzen. Ein klassisches Beispiel hierfür ist der Meister und der Lehrling [5]. Im Maschinenservice ist eine solche 1-zu-1-Betreuung allerdings an vielen Stellen nicht möglich. Daher werden oft Dokumente zur Verfügung gestellt, die nicht nur die Stammdaten der Maschinen oder Anleitungen enthalten, sondern auch Montageberichte und Dokumentationen im weitesten Sinne. Wie oben erwähnt, ist jedoch weder durch eine Dokumentenablage noch durch die Nutzung von Sprachmodellen Wissenstransfer gewährleistet.

Wie oben erwähnt, ist durch eine Dokumentenablage, auch wenn sie durchsuchbar gemacht wird durch Sprachmodelle, jedoch noch kein Wissenstransfer geleistet.

Wie kann er dann in der Praxis erreicht werden?

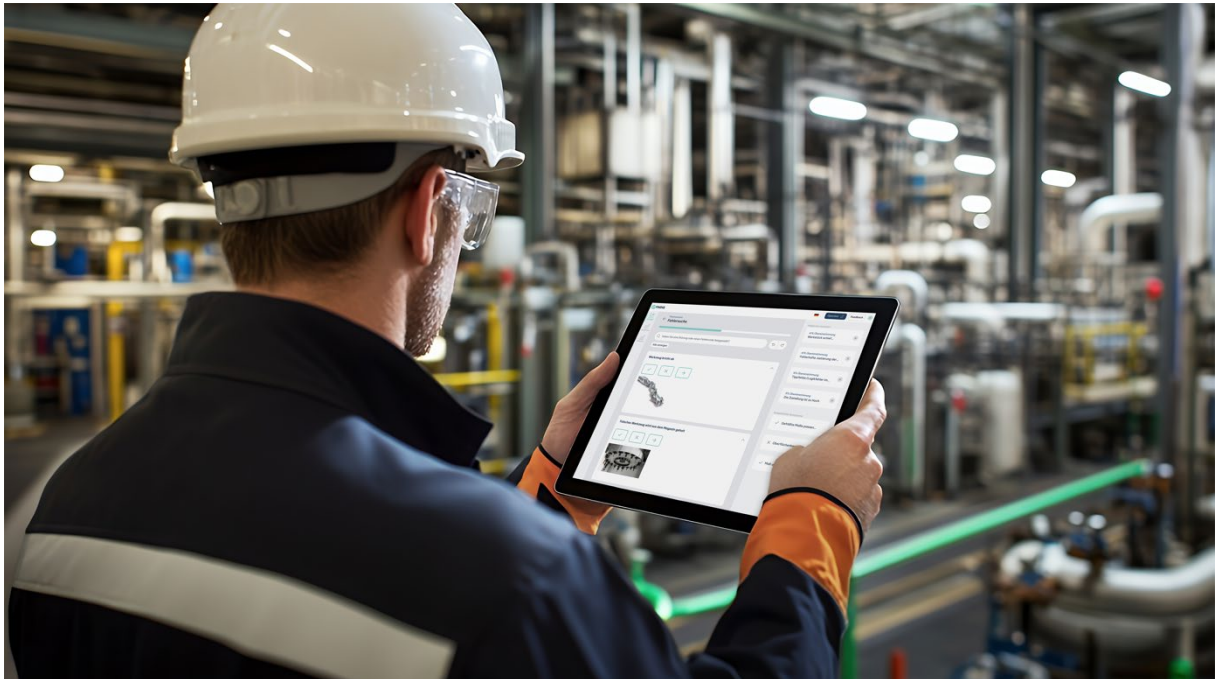
Der technologiebasierte Wissenstransfer zeigt insbesondere für den Maschinenservice langfristiges Potenzial: Hier kommen Softwarelösungen zum Einsatz, die Wissenstransfer mit einer Assistenzfunktion kombinieren. Sie unterstützen Unternehmen dabei, das Know-how erfahrener Techniker mit vergleichsweise geringem Aufwand in Form einer strukturierten, digitalen Wissensbasis zu speichern. Dazu wird ein intelligentes Assistenzsystem für Tablets und Smartphones etabliert, das mithilfe dieses Wissens unerfahrene Techniker z.B. schrittweise bei der Fehlerdiagnose unterstützt und Stillstandzeiten reduziert.

Optimalerweise ist eine solche Lösung für den Wissenstransfer selbstlernend. Durch das Feedback der Techniker wird sie im Laufe der Zeit immer effektiver. Bei dieser Lösung entsteht eine Symbiose – menschliche und digitale Intelligenz treffen aufeinander und manifestieren somit eine „intelligente Fabrik“ mit Zukunft.

Beim Thema Wissenstransfer entscheiden Details über Erfolg und Skalierung. Schauen Sie daher genauer hin. Verlieren Sie keine Zeit mit dem Management statischer Inhalte, während Experten samt ihres Kopfwissens unberücksichtigt ausscheiden. Denn grundsätzlich ist die Wahl von KI-basierten, selbstlernenden Lösungen der richtige Schritt zur nachhaltigen Beschleunigung und Optimierung von Prozessen. Auch Wissenstransfer wird erst durch den Einsatz von KI beherrschbar.

Nur ein offenes, dynamisches System erlaubt die kontinuierliche Aktualisierung, Erweiterung oder Korrektur einer Wissensbasis. KI-basierte Ansätze sind damit klar die bessere Alternative zur rein statischen Digitalisierung von Daten oder Dokumenten. Entscheidend ist jedoch, dass tatsächlich das „Kopfwissen“ als primäre und nur noch temporär verfügbare Datenquelle berücksichtigt wird und die Auswahl des genauen KI-Verfahrens differenziert genug erfolgt.

### 3. FINDIQ – die effektive Lösung!



**Abbildung 2:** Arbeiter mit der FINDIQ Software vor einer komplexen Maschine

Nach aktuellem Stand verfügt die Industrie noch über ein limitiertes Fachwissen, das in den Experten gebündelt ist, die sich dem Rentenalter nähern. Jedoch ist hier Handeln gefragt, um eine drohende, bleibende Wissenslücke zu vermeiden. Es ist wichtig, alternative Wege zu finden und die Vorzüge der Digitalisierung zu nutzen.

Die Lösung sollte allerdings zu Ihnen passen und sich schnell, kostengünstig sowie skalierbar in den Alltag integrieren lassen – ohne dabei Mitarbeiter oder Prozesse zu behindern. Nur dann haben Sie die Chance, die Lücken zu schließen und Ihre zukünftige Wettbewerbs- und Produktionsfähigkeit zu stärken. Die Software von FINDIQ bereitet das Wissen weniger Serviceexperten auf und stellt es unerfahrenen Mitarbeitern als Assistenz zur Verfügung.

FINDIQ ist ein junges, wachsendes Technologieunternehmen aus Ostwestfalen-Lippe, das als Qualitätsführer im Bereich Wissenstransfer im Maschinenservice auftritt. Dazu integriert es mittels eigens entwickelter, industriegeprüfter KI-Modelle erstmalig Wissensmanagement und Assistenzsystem in einer Servicesoftware. Nur 4 Stunden dauert es, das Kopfwissen zu einer Maschine zu digitalisieren; nur 6 Klicks sind nötig,

um dieses Wissen zur richtigen Servicelösung abzurufen. Die Schnelligkeit in der Implementierung, die Korrektheit der Ergebnisse sowie die Möglichkeit, die Wissensbasis dauerhaft zu optimieren und aktuell zu halten, sind einzigartig.

Der mittelständische Maschinen- und Anlagenbau nutzt die Software unter anderem für den Ausbau von Servicekapazitäten sowie zur Bereitstellung des Wissens als Self-Service, wie Hymmen Maschinen- und Anlagenbau GmbH.

*"Man kann nie zu früh damit starten, Wissen festzuhalten und zu konservieren. Gerade angesichts des Fachkräftemangels und der immer älter werdenden Servicekräfte."* - Svenja Jeromin (Head of After Sales Customer Service DGP, Hymmen GmbH Maschinen- & Anlagenbau):

International produzierende Großbetriebe, wie Siemens oder Phoenix Contact, skalieren die Software standortübergreifend zur gemeinsamen Arbeit an schnelleren Reaktionszeiten der internen Instandhaltung und gesteigerten Produktionsverfügbarkeiten.

*„Mithilfe von FINDIQ schaffen wir einen transparenten Wissensaufbau von technisch vertieftem Know-how, reduzieren Stillstands- und Reparaturzeiten und leiten dabei gleichzeitig zielgerichtete Qualitätsmaßnahmen ab.“* - Daniel Fiedler, Teamleiter Manufacturing Engineering Prüftechnik-/Planung - Phoenix Contact GmbH & Co. KG

Lassen auch Sie uns in Kontakt treten. Schaffen wir heute die Grundlage für Ihren zukunftsfähigen Maschinenservice sowie Ihre zukünftige Produktivität.

## Literaturverzeichnis

- [1] SIEMENS AG. Senseye Predictive Maintenance – The True Cost of Downtime 2024. Erlangen: Siemens Industry Inc, 2024.
- [2] SÖHNGEN, L., BAX, M., und weitere. Fachkräfte im Service - Der Prozess des Findens, Bindens und Entwickelns neuer Servicemitarbeitenden. Aachen: Kundendienst-Verband Deutschland e. V. (KVD) und FIR e. V. an der RWTH Aachen, 2023
- [3] KOTHES. Insight Report Service 2023, Online: <https://www.kothes.com/smart-service-information-studie>, Zugriffen: 28.02.2025 kothes, 2023
- [4] AAMODT, A., NYGARARD, M. Data & Knowledge Engineering – Different roles and mutual dependencies of data, information, and knowledge - An AI perspective on their integration. Volume 16, Issue 3, Amsterdam: Elsevier, 1995.
- [5] ACKERMANN, B. Wissensmanagement, Wissenstransfer, Wissensnetzwerke - Konzepte, Methoden, Erfahrungen. Erlangen: Richard Pircher, 2014
- [6] BMBF. Bekanntmachung – Richtlinie zur Förderung von Forschungsprojekten zum Thema „Wissenstransfer“. Berlin, Online: [https://www.bmbf.de/SharedDocs/Bekanntmachungen/DE/2021/01/3331\\_bekanntmachung.html](https://www.bmbf.de/SharedDocs/Bekanntmachungen/DE/2021/01/3331_bekanntmachung.html), Bundesanzeiger, 2021.

---

# Fachkräftemangel meistern: Prozessstandardisierung als Schlüssel zu KI-gestützter Instandhaltung

Dr. Elena Jänsch, Christian Kuhlen

Dr. Jänsch Consulting (DJC)

## 1. Einleitung: Warum KI ohne klare Strukturen nicht funktioniert

Der Fachkräftemangel ist längst in den Produktions- und Wartungsbereichen angekommen und stellt viele Unternehmen vor beträchtliche Herausforderungen.

Inmitten dieser Entwicklung setzen immer mehr Betriebe auf Digitalisierung und künstliche Intelligenz (KI), um Wartungsprozesse zu optimieren und das knappe Personal effizienter einzusetzen. Die Hoffnung: KI-Systeme können frühzeitig Anomalien in der Produktion erkennen, Verschleißmuster identifizieren und rechtzeitig Wartungsmaßnahmen vorschlagen, bevor es zu Ausfällen kommt. Doch diese Technologie stößt schnell an ihre Grenzen, wenn eine entscheidende Grundlage fehlt – nämlich **klare, standardisierte Prozesse** und **hochwertige Daten**. Denn ohne verbindliche Abläufe und konsequente Datenerfassung läuft jede KI-Lösung ins Leere.

Die Bedeutung dieser strukturellen Basis belegen mehrere Studien: Laut **VDMA (2024)** können nur 14 % der Unternehmen ihre offenen Fachkräftestellen zeitnah besetzen, was die ohnehin angespannte Personalsituation in den Instandhaltungsteams weiter verschärft [1]. **ABB (2023)** konstatiert, dass 67 % der Industriebetriebe mindestens einmal pro Monat unter ungeplanten Maschinenstillständen leiden – bei durchschnittlichen Kosten von rund 147.000 € pro Stunde [2]. Die technischen Lösungen, die hier Abhilfe schaffen könnten, benötigen jedoch eine verlässliche Datenbasis.

---

Das von **Dr. Jänsch Consulting (DJC)** entwickelte Konzept der **Inganghaltung 1.0** © zeigt, dass Prozessstandardisierung und systematische Datenerfassung die Voraussetzungen für jede Form von KI-gestützter Instandhaltung schaffen [3]. Praktische Umsetzung und Ergebnisse werden im Folgenden anhand des Beispiels eines Klienten diskutiert.

## 2. Der Status quo: Chaos in Prozessen bremst KI-Potenziale

In vielen Instandhaltungsabteilungen regiert das Prinzip „**Feuerwehr-Einsatz**“. Störungen werden telefonisch oder per E-Mail gemeldet, manchmal sogar nur mündlich weitergegeben. Verantwortlichkeiten für Wartungsaufträge sind nicht immer klar geregelt, und die Einsatzplanung erfolgt kurzfristig. Zugleich gibt es häufig mehrere Datenquellen, die isoliert voneinander existieren – so zum Beispiel Excel-Tabellen für Ersatzteilbestände, lose Dokumente für Wartungshistorien oder unterschiedliche Software-Module für bestimmte Anlagentypen.

Das Ergebnis: **Datensilos**. Technische Informationen, Auftragsdetails und Ersatzteilbestände sind in verschiedenen Programmen verstreut und inhomogen erfasst. Ein einheitliches Datenmodell existiert oft nicht. Dadurch lassen sich weder aussagekräftige Auswertungen noch eine automatisierte Analyse erstellen.

Eine arbeitswissenschaftliche Untersuchung zur Effizienzsteigerung in der Instandhaltung zeigt, dass Anlagenbediener rund 20 % ihrer Arbeitszeit für die Informationssuche benötigen, bei Instandhaltern liegt dieser Anteil sogar bei 25 % [4]. Diese Zeit fehlt für die eigentliche Wartungsarbeit – ein Umstand, der den Personalmangel zusätzlich verstärkt. KI-Systeme können die Effizienz zwar steigern, doch sie benötigen qualitativ hochwertige Daten, die ohne eine einheitliche Prozessstruktur nichtgeneriert werden können.

### 3. Der Weg zur KI-fähigen Instandhaltung: Prozessstandardisierung als Fundament

Ohne strukturierte Prozesse keine saubere Datengrundlage – und ohne saubere Daten keine KI. Dieser Leitsatz fasst die zentrale Problematik zusammen. Um den Einsatz von KI in der Instandhaltung zu ermöglichen, braucht es ein stufenweises Vorgehen, bei dem zunächst organisatorische und dann technologische Aspekte adressiert werden:

- **Prozessharmonisierung**
  - Einheitliche Meldeverfahren für alle Wartungsbedarfe und Störungen
  - Klare Priorisierungskriterien (z. B. „kritisch“ vs. „nicht kritisch“)
  - Eindeutige Zuständigkeiten für Aufgabenplanung und -freigabe
  - Durchgehende Dokumentationspflicht
- **Digitale Vernetzung**
  - Einführung oder Ausbau eines zentralen Instandhaltungs- oder ERP-Systems (z. B. SAP PM, IBM Maximo)
  - Echtzeit-Auswertung über Dashboards, sodass Zustände von Maschinen, Aufträgen und Personalressourcen stets im Blick sind
  - Automatisierte Datenerfassung via IoT-Sensoren (z. B. für Temperatur, Vibration, Druck), um kontinuierlich verlässliche Zustandsdaten zu erhalten
  - Gemeinsame Datenplattform, die Informationen aus verschiedenen Modulen zusammenführt und vermeidet, dass Excel-Listen und Inselfösungen weiterhin nebeneinander bestehen
- **KI-gestützte Wartung**
  - Nutzung von Machine-Learning-Modellen, die auf Basis von Echtzeit- und historischen Daten Vorhersagen über Ausfallwahrscheinlichkeiten treffen
  - Predictive Maintenance, bei der Wartungsaktivitäten rechtzeitig geplant und Stillstände dadurch reduziert werden
  - Laufende Optimierung der Algorithmen durch Rückkopplung neuer Daten (Feedback-Schleife)

---

Erst wenn die Prozesse definiert und digital abgebildet sind, kann KI ihre Stärken ausspielen. Studien zu effizienzsteigernden Maßnahmen wie Predictive Maintenance bestätigen, dass eine einheitliche Prozesslandschaft Voraussetzung ist für die Anwendung solcher know-how-intensiven Tools [5], wozu unumstritten auch die Anwendung von KI zählt.

#### 4. Praxisbeispiel: Vom datengestützten Chaos zur erfolgreichen Predictive Maintenance

Ein Produktionsunternehmen plante die Einführung von KI-gestützter Predictive Maintenance, scheiterte jedoch im ersten Anlauf an der Datenqualität. Die Ursachen lagen in:

- **Uneinheitlichen Wartungsmeldungen:** Mal per Telefon, mal per Excel-Liste, mal via ERP-System
- **Fehlenden Standards bei der Ersatzteilverwaltung:** Keine einheitliche Bezeichnung für das gleiche Teil in unterschiedlichen Werken
- **Unklaren Zuständigkeiten:** Techniker mussten mehrfach Rücksprache halten, weil nicht klar war, wer die Freigabe für Wartungsaufträge erteilt

Folglich konnten die angestrebten KI-Analysen nicht verlässlich durchgeführt werden. So lauteten die KI-Prognosen zwar teils auf baldige Ausfälle, doch dafür fehlte die Bestätigung aus korrekt hinterlegten Daten oder Wartungsverläufen. Erst durch eine ausführliche Prozessstandardisierung, deren Ablaufschema in **Abbildung 1** dargestellt ist, konnte eine echte, belastbare Datenbasis geschaffen werden:

- **Zentralisiertes Meldewesen** über ein einheitliches ERP-Modul
- **Automatisierte Auftragszuweisung** auf Basis klar definierter Verantwortlichkeiten und Prioritäten
- **Systematische Erfassung des Teilebestands** mit eindeutigen Artikelnummern

Infolgedessen sanken die Bearbeitungszeiten für Störmeldungen um 15 % und die Reaktionszeiten auf kritische Ausfälle sanken um 20 %. Anschließend war das

Unternehmen in der Lage, echte Predictive-Maintenance-Ansätze einzusetzen – mit dem Ergebnis, dass ungeplante Stillstände mittelfristig um 30 % zurückgingen.

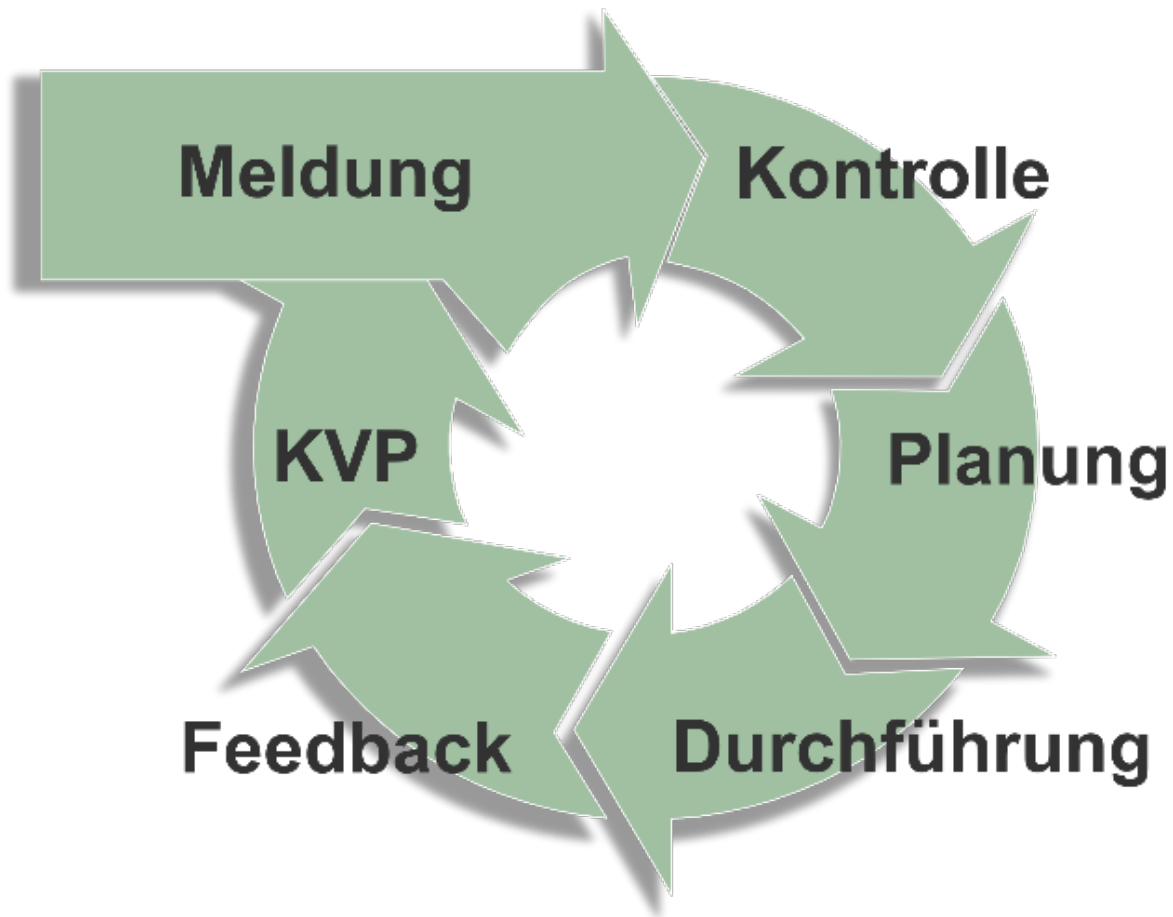


Abbildung 3: Konzeptionelles Schema für die Instandhaltungsprozess-Standardisierung

## 5. Der Mensch im Mittelpunkt: Mit knappen Fachkräften produktiv bleiben

Gerade in Zeiten des Fachkräftemangels ist es entscheidend, das vorhandene Personal möglichst effizient einzusetzen und gleichzeitig die Arbeitsbelastung nachhaltig zu reduzieren. Automatisierung, Digitalisierung und KI können hier entlasten, indem Routineaufgaben minimiert und Wartungsprozesse vorhersehbarer werden.

- **Klare Rollen und Verantwortlichkeiten** reduzieren Abstimmungsaufwand und Fehler

- 
- **Qualifizierung und Fortbildung** befähigen Fachkräfte im Umgang mit neuen Tools, steigern die Motivation und reduzieren die Fluktuation
  - **Verbesserte Arbeitsumgebung** mit digitalen Systemen verschlankt Abläufe und bietet Mehrwert, indem sie Zeit für komplexere Aufgaben schaffen

Unternehmen, die diese Faktoren berücksichtigen, positionieren sich zudem attraktiver am Arbeitsmarkt, da sie zeigen, dass sie auf Zukunftstechnologien setzen und den Mitarbeitenden zeitgemäße Arbeitsbedingungen bieten.

## 6. Häufige Stolpersteine und wie man sie überwindet

Trotz der klaren Vorteile von Prozessstandardisierung und KI-Integration ist die Umsetzung in der Praxis komplex und birgt Risiken. Typische Stolpersteine sind:

- **Management ohne langfristige Strategie** – Fehlt die übergeordnete Priorisierung, drohen Digitalisierungsprojekte ins Stocken zu geraten und verlaufen im Sande
- **Vorschnelle Einführung von KI-Lösungen** – Fehlen klar definierte Prozesse und verlässliche Daten, erzielen KI-Projekte selten die erhofften Ergebnisse
- **Datensilos und unklare Verantwortlichkeiten** – Unterschiedliche Systeme und Schnittstellen erschweren den Datenfluss und führen zu Redundanzen
- **Widerstände im Team** – Veränderungen erzeugen Ängste, die durch mangelhafte Kommunikation noch verstärkt werden
- **Unrealistische Erwartungen** – KI erfordert eine gewisse Anlaufzeit, Trainings- und Lernphasen – schnelle Erfolge stellen sich nur selten sofort ein

Die Erfahrung zeigt, dass eine integrative Herangehensweise mit Einbezug aller Beteiligten und ein schrittweises Vorgehen (Pilotprojekte, Skalierung, stetiges Monitoring) am erfolgreichsten ist.

---

## **7. Fazit: Standardisierung und KI als Antwort auf den Fachkräftemangel**

Der Fachkräftemangel zwingt Instandhaltungsorganisationen, mit begrenzten personellen Ressourcen immer mehr zu leisten. Das gelingt nur, wenn Prozesse effizient gestaltet und wiederkehrende Aufgaben, wo möglich, automatisiert werden. Künstliche Intelligenz kann hier wertvolle Dienste leisten, indem sie Anomalien früh erkennt und Wartungsarbeiten planbarer macht. Doch der Schlüssel zum Erfolg liegt in der Prozessstandardisierung: Ohne feste Abläufe und eine qualitativ hochwertige Datenbasis bleibt der Nutzen einer KI-Anwendung stark eingeschränkt. Prozessstandardisierung und KI-Einsatz müssen Hand in Hand gehen. Wer diesen Schritt konsequent vollzieht, verschafft sich einen nachhaltigen Wettbewerbsvorteil und stärkt die Zukunftsfähigkeit des eigenen Unternehmens.

---

## Literaturverzeichnis

- [1] VDMA. Volkswirtschaft & Statistik, Bildung: Arbeitsmarkt & Nachwuchswerbung im Maschinenbau - Mitgliederbefragung April 2024. Zugriff am: 05.01.2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.vdma.org/documents/34570/4802302/24-05-22+Charts+Arbeitskraeftemagel.pdf/87e7c615-4147-6812-ec31-3deb002fab33?t=1716363254800?filename=24-05-22+Charts+Arbeitskraeftemagel.pdf>
- [2] ABB. Ungeplante Stillstände kosten deutsche Unternehmen 147.000 EUR pro Stunde. Pressemitteilung. Ladenburg, 2024. Zugriff am: 15.12.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://new.abb.com/news/de/detail/116577/ungeplante-stillstande-kosten-deutsche-unternehmen-147000-eur-pro-stunde>
- [3] DR. JÄNSCH CONSULTING. Dr. Jänsch Consulting - Unser Angebot. Zugriff am 20.12.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.drjaensch.de/unser-angebot/>
- [4] HÖHNEL, A.; WÄCHTER, M.; BULLINGER, A. C. Effizienzsteigerung in der Instandhaltung durch Sozio-Cyber-Physische Systeme. In: GfA, Dortmund (Hrsg.): VerANTWORTung für die Arbeit der Zukunft. Bericht zum 61. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 25.–27. Februar 2015. Dortmund: GfA-Press, 2015, Beitrag C.2.6., S. 3, 4. [Online]. Verfügbar unter: <https://gfa2015.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de/inhalt/C.2.6.pdf>
- [5] SCHUH, G. et al. Predictive Maintenance – Entwicklung vorausschauender Wartungssysteme für Werkzeugbaubetriebe und Serienproduzenten. 1. Aufl., Aachen: Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen, 2020, S. 8, 38.

## **In der modernen Industrie wird Nachhaltigkeit zunehmend als zentrales Ziel angesehen, das nicht nur ökologische Vorteile bietet, sondern auch langfristig wirtschaftliche Effizienz und Wettbewerbsfähigkeit sicherstellt.**

Oliver Jungermann, Jasmin Hille

PIEL Die Technische Großhandlung GmbH

### **Zusammenfassung**

Der vorliegende Beitrag beleuchtet das „SKF-Partnerprogramm für mehr Nachhaltigkeit“ und seine Implementierung durch die Technische Großhandlung PIEL. Dabei wird untersucht, wie innovative Ansätze in der Instandhaltung zur Reduzierung des ökologischen Fußabdrucks und zur Erreichung von Klimazielen beitragen können.

### **1. Bedeutung von Nachhaltigkeit in der Industrie**

Industrieunternehmen stehen vor komplexen Herausforderungen: Einerseits gilt es, die Produktivität zu maximieren und Betriebskosten zu minimieren, andererseits sind regulatorische und gesellschaftliche Anforderungen im Hinblick auf Umweltschutz und Klimaneutralität zu erfüllen. Diese Zielkonflikte machen es notwendig, Technologien, Produkte und Prozesse zu entwickeln, die eine effiziente Ressourcennutzung mit ökologischen Vorteilen verbinden. Ein entscheidender Hebel in diesem Kontext ist die Instandhaltung. Der gezielte Einsatz hochwertiger, langlebiger und effizienter Komponenten wie Wälzlager trägt dazu bei, den Energieverbrauch von Maschinen zu reduzieren, deren Lebensdauer zu verlängern und somit Ressourcen zu schonen.

---

## 2. Das SKF-Partnerprogramm für mehr Nachhaltigkeit

SKF, ein weltweit führender Anbieter von Technologien rund um rotierende Maschinen, hat das „SKF-Partnerprogramm für mehr Nachhaltigkeit“ ins Leben gerufen. Ziel ist es, technische Handelspartner dabei zu unterstützen, ihre Kunden mit maßgeschneiderten Lösungen zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes zu begleiten.

Das Programm bietet Produkte, Wälzlager und andere Komponenten, die durch reduzierte Reibung und Langlebigkeit den Energieverbrauch minimieren. Zeitgleich bietet es auch Prozesse, die Werkzeuge zur Bewertung der Klimateffizienz bestehender und neuer Anwendungen bereitstellen. Gemeinsam mit dem Handelspartner können Klimaneutralitätsstrategien, basierend auf fundierten Analysen und optimierten Lösungen, erarbeitet werden.

## 3. PIEL als Vorreiter im SKF-Partnerprogramm

PIEL ist ein autorisierter SKF-Partner mit über 100 Jahren Erfahrung und hat sich als erster Partner dieses Programms etabliert. Mit Hauptsitz in Soest und einem Fokus auf Nachhaltigkeit seit vielen Jahren setzt das Unternehmen auf modernste Technologien, um seinen Kunden nicht nur Effizienzgewinne, sondern auch ökologische Vorteile zu bieten. Ein Schlüsselbaustein des Programms ist die gemeinsame Klima-Effizienzanalyse. Diese ermöglicht es, die Auswirkungen unterschiedlicher technischer Lösungen auf CO<sub>2</sub>-Emissionen präzise zu qualifizieren. Mit diesen Daten können fundierte Entscheidungen getroffen werden, die sowohl ökologische als auch wirtschaftliche Vorteile bieten.

Die Relevanz von nachhaltiger Instandhaltung wird besonders deutlich, wenn man die spezifischen Herausforderungen in einzelnen Industriezweigen betrachtet:

**Metallindustrie:** Die Metallindustrie ist durch energieintensive Prozesse und hohe Emissionen gekennzeichnet. Durch den Einsatz von Wälzlagern mit reduzierter

---

Reibung und längerer Lebensdauer können signifikante Energieeinsparungen erzielt werden. Zudem tragen kreislauffähige Lösungen zur Reduktion von Abfällen bei.

**Pharmaindustrie:** Anlagen in der Pharmaindustrie erfordern regelmäßige Sterilisation und Wartung, was zu hohem Ressourcenverbrauch führt. Spezialisierte Wälzlager, die weniger häufig nachgeschmiert werden müssen und längere Wartungsintervalle ermöglichen, bieten hier einen großen Hebel.

**Lebensmittel- und Getränkeindustrie:** In dieser Branche führen Nassreinigungen und kurze Wartungszyklen zu einem hohen Verbrauch an Wasser und Reinigungsmitteln. Nachhaltige Lagerlösungen helfen, diesen Verbrauch zu reduzieren und gleichzeitig die Lebensmittelsicherheitsstandards einzuhalten.

**Halbleiterindustrie:** Auch die Halbleiterproduktion ist durch anspruchsvolle Betriebsbedingungen geprägt. Hier sind effiziente, langlebige und wartungsarme Lagerlösungen essenziell, um den Energieverbrauch zu senken und die Umweltbelastung zu minimieren. Technologie fungiert als Schlüssel zur Nachhaltigkeit.

Ein zentraler Bestandteil der Kooperation zwischen SKF und PIEL ist die Entwicklung und Implementierung innovativer Technologien. Die Auswahl des richtigen Wälzlagers kann den Energieverbrauch von Maschinen erheblich beeinflussen. Moderne Lagerlösungen reduzieren Reibung, verlängern die Standzeiten und senken damit den Bedarf an Ressourcen und Energie. Zusätzlich ermöglicht die digitale Zustandsüberwachung eine vorausschauende Instandhaltung. Dadurch können Maschinenstillstände minimiert und der Lebenszyklus von Anlagen verlängert werden. Diese Maßnahmen tragen zur Kostenreduktion und zur Reduzierung der Umweltauswirkungen bei.

## 4. Die Nachhaltigkeitsstrategie von PIEL

Das Unternehmen ist nicht nur technischer Handelspartner, sondern auch ein Vorreiter in Sachen Nachhaltigkeit. Das Unternehmen hat seit 2019 alle seine

Treibhausgasemissionen bilanziert und kompensiert diese durch den Erwerb von Klimaschutzzertifikaten. Darüber hinaus verfolgt PIEL das Ziel, die verbleibenden Emissionen durch Effizienzsteigerungen weiter zu reduzieren. Ein besonderes Engagement zeigt die PIELgruppe auch in der Wiederaufforstung. Mit der Initiative WaldLokal GmbH hat der technische Händler seit 2021 dazu beigetragen, dass über 300.000 Bäume in Deutschland gepflanzt werden konnten. Diese Initiative zeigt, wie Nachhaltigkeit in unternehmerisches Handeln integriert werden kann.

Das SKF-Partnerprogramm und die Zusammenarbeit mit PIEL eröffnen die Möglichkeit, technische Innovation und strategische Partnerschaften zu bilden, die dazu beitragen können, die Nachhaltigkeit in der Industrie voranzutreiben. Durch die Kombination von hochwertigen Produkten, datenbasierter Beratung und einem klaren Fokus auf Umweltschutz wird ein umfassender Ansatz zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks ermöglicht. Die hier beschriebenen Maßnahmen und Ansätze verdeutlichen, dass Nachhaltigkeit in der Instandhaltung nicht nur eine Herausforderung, sondern auch eine Chance ist – für die Industrie, die Umwelt und die Gesellschaft als Ganzes.

Einschub: Außerdem sind Halluzinationen (überzeugend formulierte Resultate einer KI, die nicht durch Trainingsdaten gerechtfertigt zu sein scheinen und objektiv falsch sein können) ausgeschlossen und dadurch um ein Vielfaches weniger Feedbackschleifen notwendig, um die Ergebnisse mit dem entstehenden Wissen und Erfahrungen aus dem Feld zu optimieren.

# Von alten Hasen lernen: Methoden und Technologien für einen KI-gestützten Erfahrungstransfer

Pia Stürzebecher, Andreas Herzog, Christian Richter, Tina Haase

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und –automatisierung IFF

## 1. Warum das Wissen alter Hasen schwindet – und wie KI helfen kann

In der industriellen Instandhaltung ist der Wissenserhalt eine zentrale Herausforderung. Maschinen, die seit Jahrzehnten in Betrieb sind, erfordern spezialisiertes Know-how, das erfahrene Fachkräfte über Jahre aufgebaut haben. Durch den demografischen Wandel und Fachkräftemangel verlassen immer mehr Expert:innen die Unternehmen, während ihre Nachfolger:innen oft fehlen. Daher müssen Unternehmen neue Wege finden, dieses wertvolle Wissen zu konservieren und weiterzugeben.

### 1.1. Herausforderung im Überblick

In vielen Betrieben wird die Instandhaltung von alten Maschinen durch einen entscheidenden Engpass erschwert: Die spezifischen Kenntnisse zu Funktionsweisen und Problemlösestrategien existieren meist ausschließlich in den Köpfen von Fachkräften. Mit dem zunehmenden Weggang dieser Expert:innen droht ein massiver Wissensverlust [1]. Bisher beruhte der Wissenstransfer häufig auf einem Tandem-Modell, bei dem erfahrene Expert:innen Novizen direkt anleiteten. Aufgrund von Fachkräftemangel und reduzierten Belegschaften wird dies zunehmend schwieriger. Gleichzeitig steigen durch den technologischen Fortschritt und die zunehmende Automatisierung in der Praxis die Anforderungen an die

Instandhaltung [2], wodurch traditionelle Ansätze der Wissensweitergabe an ihre Grenzen stoßen.

## **1.2. Unser Ziel: Erfahrungswissen systematisch sichern und nutzen**

Der technologische Fortschritt wird in Zukunft noch mehr als heute konkrete Maßnahmen erfordern, um (neuen) Mitarbeitenden aktuelles Wissen zur Bedienung technologischer Lösungen bereitzustellen und das Wissen ausscheidender Expert:innen zu sichern. In diesem Kontext eröffnet Künstliche Intelligenz (KI) innovative Wege, um Wissen effektiver zu sichern und zugänglich zu machen. KI bietet das Potenzial, traditionelle Prozesse nicht nur zu ergänzen, sondern auch vollständig neue Ansätze in der Instandhaltung zu etablieren.

Das Ziel ist es, Erfahrungswissen, das bislang schwer greifbar war, systematisch zu erfassen, zu strukturieren und mittels KI zugänglich zu machen. Durch den Einsatz moderner Technologien streben wir nicht nur danach, die Dokumentation von Wissen zu automatisieren, sondern auch eine Weitergabe an künftige Generationen zu ermöglichen. So kann das Wissen der „alten Hasen“ auch in Zukunft ein zentraler Bestandteil betrieblicher Prozesse bleiben.

## **2. Erfahrungsschätze heben: Wissenstransfer direkt aus der Praxis**

Der Wissenstransfer in der industriellen Instandhaltung ist eine der zentralen Herausforderungen, wenn es darum geht, langfristig die Effizienz und Zuverlässigkeit betrieblicher Abläufe zu gewährleisten. Besonders das unbewusste, *implizite Wissen* von Fachkräften [3] birgt für die Instandhaltung enorme Potenziale. Es ermöglicht die schnelle Identifikation von Problemen und die effektive Umsetzung von Lösungen – gleichzeitig ist es jedoch schwer greifbar und geht mit dem Ausscheiden der Expert:innen häufig verloren. Um diese Wissensschätze zu heben, braucht es innovative Ansätze, die Erfahrungswissen praxisnah erfassen und weitergeben. Durch die Kombination systematischer Methoden des Wissensmanagements mit gezielten

technologischen Lösungen, insbesondere durch eine effiziente Mensch-Maschine-Interaktion kann dieses Ziel erreicht werden.

## 2.1. Das unsichtbare Wissen in der Instandhaltung

Implizites Wissen ist die Grundlage für viele Arbeitsprozesse in der Instandhaltung [4]. Es handelt sich um stilles Wissen, das durch Erfahrung und situative Problemlösung erworben wird und sich nur schwer in Worte oder schriftliche Dokumente fassen lässt. Im Gegensatz dazu ist explizites Wissen dokumentiert und lässt sich durch Anleitungen oder Schulungen weitergeben. Implizites Wissen ist oft tief mit spezifischen Maschinen, Prozessen und der Unternehmenskultur verwoben und ist für die betriebliche Praxis daher unverzichtbar [3].

Die Erfassung und Weitergabe dieses Wissens stellt Unternehmen vor große Herausforderungen. Einerseits fehlt es häufig an klaren Strukturen, um implizite Informationen zu dokumentieren. Andererseits ist das Wissen stark an die erfahrene Person gebunden, was den Transfer an andere Mitarbeitende erschwert. Diese Hürden verdeutlichen, wie wichtig es ist, geeignete Ansätze zu entwickeln, um das unsichtbare Wissen sichtbar und nutzbar zu machen [5].

## 2.2. Erzähl doch mal! – Wie narrative Methoden das Wissensmanagement verändern

Ein effektiver Weg, um Erfahrungswissen zugänglich zu machen, ist der Einsatz narrativer Methoden. *Storytelling* [6] und *Triadengespräche* [7] vermitteln Wissen durch Erzählungen, die sowohl die fachliche als auch emotionale Ebene ansprechen. Sie ermöglichen nicht nur die Weitergabe von Fakten, sondern auch das *Wie* und *Warum* von Entscheidungsprozessen.

Durch eine strukturierte Moderation wird sichergestellt, dass alle relevanten Inhalte erfasst werden. So bleibt Wissen leichter im Gedächtnis und lässt sich direkt in den Arbeitsalltag integrieren. Narrative Methoden schlagen eine Brücke zwischen Expert:innen und unerfahrenen Mitarbeitenden. Trotz des zunehmenden Einsatzes

technologischer Lösungen bleibt der Mensch unverzichtbar, da er Maschinen mit Intuition, Werteverständnis und kreativer Problemlösefähigkeit ergänzt [8].

### **3. Tandem der Zukunft – Erzähl's dem Bot?!**

Der Einsatz von KI kann den Wissenstransfer in Unternehmen erheblich verbessern. Die KI kann bei der Aufnahme, Systematisierung und Aufbereitung sowie zur Bereitstellung von Wissen unterstützen, wodurch arbeitsintensive Prozesse stark automatisiert werden können.

Durch automatische Transkription von Gesprächen sowie der Analyse von Bildern kann Wissen mühelos dokumentiert werden [9]. Intelligente Wissensgraphen helfen dabei, Inhalte zu strukturieren und Lücken (noch während des Gesprächs) zu identifizieren. KI ermöglicht zudem eine kompakte multimodale Speicherung des Wissens – ob als Text, Bild oder Video. Besonders wertvoll ist die individuelle Bereitstellung des Wissens: Wissensnehmer:innen erhalten Inhalte passgenau auf ihren Kenntnisstand und bevorzugte Formate zugeschnitten [10].

KI unterstützt nicht nur Wissensgebende und -nehmende, sondern auch Moderierende, indem sie Gespräche analysiert, Nachfragen generiert und bestehendes Wissen ergänzt [11].

### **4. Den Ball ins Rollen bringen: Startklar für den Erfahrungstransfer (der Zukunft)**

Der erste Schritt für einen erfolgreichen Wissenstransfer ist die gezielte Auswahl: *Welches Wissen soll erfasst werden – und von wem?* Diese Entscheidung liegt bei den Verantwortlichen und wird strukturiert dokumentiert. Die KI erhält diesen Input in Form einer leeren Wissenslandkarte, die noch bestehende Lücken sichtbar macht.

Damit das Wissen in der Arbeitssituation intelligent abgerufen werden kann, muss zunächst eine Datenbasis aufgebaut werden. Dafür sind zunächst die Wissensinhalte und -quellen sowie die Wissensträger:innen im Unternehmen zu identifizieren.

Neben eher offensichtlichen Quellen wie Handbüchern und Protokollen können auch weniger formal dokumentierte Inhalte wie z. B. Servicetickets und verschiedene dokumentierte Kommunikationswege erschlossen werden. Hier ist Detektivarbeit gefragt. Interviewformate können diesen Prozess unterstützen und implizite Vorgehensweisen sichtbar machen. *Welche Problemlösestrategien nutzen erfahrene Instandhalter:innen und auf welche Dokumentationen greifen sie dafür zurück?*

Neben den expliziten Wissensbeständen kann zu Beginn das implizite Wissen der Expert:innen erhoben werden. Dazu können die oben beschriebenen narrativen Verfahren (z. B. Triadengespräch) verwendet werden. Diese Gespräche gehen mit ihren originären Daten in die Wissensbasis ein und bilden eine weitere wichtige Datenquelle, auf die die KI später zugreifen kann. Bereits in dieser frühen Phase der Datenerhebung entsteht für die Unternehmen ein unmittelbarer Mehrwert: Der Wissenstransfer erfolgt für die am Gespräch beteiligten Personen direkt in der Gesprächssituation.

Ein Chatbot kann die Rolle eines Wissensnehmenden simulieren, indem er gezielt Fragen stellt und so den Erfahrungsschatz von Expert:innen systematisch erfasst. Falls die Akzeptanz für virtuelle Gesprächspartner:innen fehlt, bleibt die KI im Hintergrund aktiv: Sie gleicht die neu gewonnenen Informationen mit bereits vorhandenen Daten ab und stellt gezielte Nachfragen, wenn Unstimmigkeiten oder Lücken erkannt werden.

Nach der Erfassung wird das Wissen durch die KI in Wissensgraphen überführt, mit bestehenden Informationen ergänzt und strukturiert. Dieser Abgleich stellt sicher, dass keine relevanten Inhalte fehlen. Anschließend wird das Wissen in einer geeigneten Form bereitgestellt, z. B. als Text, interaktive Grafik oder Video-Tutorial. Der Zusatznutzen ergibt sich durch die personenunabhängige Verfügbarmachung der Inhalte und kann so eine langfristige Verfügbarkeit des Wissens ermöglichen.

Die Autor:innen möchten hervorheben, dass insbesondere die Schaffung von *Dialogräumen* für einen erfolgreichen Wissens- und Erfahrungstransfer relevant und unerlässlich ist. Nur sie ermöglichen die Schaffung eines wertschätzenden Rahmens, der die Expert:innen überhaupt erst motiviert, ihr wertvolles Wissen zu teilen [12]. So entsteht ein dynamischer, KI-gestützter Wissenstransfer, der Erfahrungswissen nachhaltig sichert und für die Praxis nutzbar macht.

## Literaturverzeichnis

- [1] OTTERSBOECK, N.; Prange, C.; Peters, S. Babyboomer weg, Wissen weg – Partizipative Entwicklung eines KI-basierten, selbstlernenden Assistenzsystems zur Erfassung und Sicherung von implizitem Wissen in der Produktion. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 78, S. 1-13, 2024.
- [2] RYLL, F.; FREUND, C. Grundlagen der Instandhaltung. In: Schenk, M. (Ed.): Instandhaltung technischer Systeme: Methoden und Werkzeuge zur Gewährleistung eines sicheren und wirtschaftlichen Anlagenbetriebs, S. 23-38, Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer Verlag, 2010.
- [3] POLANY, M. Implizites Wissen. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1985.
- [4] HAASE, T. Industrie 4.0: Technologiebasierte Lern- und Assistenzsysteme für die Instandhaltung (Vol. 46). Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag, 2017.
- [5] REISACH, U.; NAKHOSTEEN, C. B.; ERLACH, C.; ORIAN, W. Wissenstransfer bei Fach- und Führungskräften. Erfahrungswissen erfassen und weitergeben. 2. aktualisierte Aufl., München: Carl Hanser Verlag, 2025.
- [6] ERLACH, C. & THIER, K. Mit Geschichten implizites Wissen in Organisationen heben. In: Wyszusek (Eds.) Wissensmanagement komplex: Perspektiven und soziale Praxis, Berlin: Erich Schmidt Verlag, S. 207-226, 2004.
- [7] DICK, M.; NEBAUER-HERZIG, K.; TERMATH, W. Triadengespräch. In: Dick, M., Marotzki, W.; Mieg, H. (Eds.) Handbuch Professionsentwicklung. Vol. 8622, Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt, 2016.
- [8] GENG, B.; VARSHNEY, P. K. Human-machine Collaboration for Smart Decision Making: Current Trends and Future Opportunities. IEEE, 8th International Conference on Collaboration and Internet Computing, S. 61-67, 2022.
- [9] HABERL, A.; FLEIß, J.; KOWALD, D.; THALMANN, S. Take the aTrain. Introducing an interface for the Accessible Transcription of Interviews. Journal of Behavioral and Experimental Finance (Vol. 41), 2024.
- [10] CHEN, E.; LEE, J.-E.; LIN, J.; KOEDINGER, K. GPTutor: Great personalized tutor with large language models for personalized learning content generation. In: Proceedings of the 11th ACM Conference on Learning at Scale. S. 539-541, 2024.
- [11] HU, Z.; WANG, L.; CHEN, Y.; LIU, Y.; LI, R.; ZHAO, M.; LU, X.; JIANG, Z. Dynamically retrieving knowledge via query generation for informative dialogue generation. Neurocomputing (Vol. 569), 2024.
- [12] COOPERRIDER, D.; WHITNEY, D. D. Apprentice Inquiry: A Positive Revolution in Change. Berrett-Koehler Publishers, 2005.

# Die Rolle des Vertrauens in datenverarbeitenden Diensten für den technischen Service am Beispiel der Instandhaltung

Dr.-Ing. Nick Große

Technische Universität Dortmund /Lehrstuhl für Unternehmenslogistik

## Zusammenfassung

Industrielle Unternehmen und wertschöpfungsnahe Domänen stehen vor der Frage, wie innovative Schlüsseltechnologien dazu beitragen können, Vertrauen in Daten, datenverarbeitende Dienste und Datenräumen sicherzustellen. Trotz des omnipräsenten Einsatzes von Large-Language-Modellen bleibt die Frage offen, welche Vertrauenseigenschaften datenverarbeitende Dienste adressieren, und an welchen Stellen sie weitere Unsicherheiten hervorrufen. Der Beitrag stellt mögliche Zugangspunkte des Vertrauensaufbaus im Einsatz datenverarbeitender Dienste für die Beschaffung technischer Dienstleistungen auf, woraufhin sich mögliche Zugangspunkte für Wissenschaft und Praxis ergeben.

## 1. Vertrauen als Erfolgsfaktor für industrielle Services

Die Instandhaltung als „Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen [...], die dem Erhalt oder Wiederherstellung ihres funktionsfähigen Zustands dient [...]“ [1, S. 4] unterliegt dem Wandel der digitalen Transformation, in der insbesondere der Einsatz von künstlicher Intelligenz einer großen Bedeutung zukommt [2]. Trotz aller Euphorie, die der Technologie zugeschrieben wird, sind bislang nur unzureichende Erkenntnisse über den verantwortungsbewussten Umgang mit dieser Technologie bekannt [2,3]. Die Hintergründe sind mannigfaltig und reichen von unzureichendem Wissen über die mit der Technologie verbundenen Daten, und datenverarbeitende Prozesse bis hin zu den Datenräumen, in denen sie eingebettet

sind [3]. Verstärkt wird die Intransparenz durch die Anzahl an Akteuren, die an der Interaktion mit KI als datengetriebene Dienstleistungen beteiligt sind.

## **2. Begriffseinordnung: Vertrauen und KI**

Der Begriff des organisationalen Vertrauens lässt sich nach MAYER ET AL. in das Zusammenspiel der Vertrauenswürdigkeit als Komposition der Eigenschaften Fähigkeit (Ability), das wohlwollende Handeln (Benevolence) und der Integrität (Integrity), sowie der eigenen Haltung des Vertrauensgebers gegenüber diesen Faktoren beschreiben [4].

Die Vertrauenswürdigkeit als Teilmenge des Vertrauens spielt bei der Vergabe von technischen bzw. industriellen Dienstleistungen, von der Spezifikation über die Informations- und Anbahnungsgespräche hin zur Vergabe, Leistungserbringung, technischen Freigabe, Zahlungsabwicklung und der abschließenden Dokumentation und Leistungsbeurteilung eine wichtige Rolle [5,6].

Der Begriff Künstliche Intelligenz (KI) lässt sich definieren als jener „[...] Bereich der Informatik, der sich mit der Entwicklung von Datenverarbeitungssystemen beschäftigt, welche Funktionen erfüllen, die in der Regel mit der menschlichen Intelligenz [...] in Verbindung stehen“ [7, S. 12].

## **3. Vertrauen durch KI in der Beauftragung technischer Dienstleistungen**

In der Vergangenheit wurden die Charakteristika der Blockchain-Technologie auf ihren Beitrag zum Vertrauensaufbau entlang des Vergabeprozesses technischer Dienstleistungen gegenübergestellt [5]. Grundannahmen asymmetrischer Informationen [8], die einst auf zwischenmenschliche Interaktionen mitgedacht wurden, sind allerdings auch für nichtmenschliche, KI-basierte Akteure übertragbar.

Im Nachfolgenden werden die Vertrauenseigenschaften betrachtet, die durch die KI als datenverarbeitende Technologie entlang der Beauftragung technischer

Dienstleistungen, wie der Instandhaltung, ausgehen. Unsicherheiten, die von der Bedienung der KI durch die Nutzer induziert werden, sind zunächst nicht Teil der Betrachtung in diesem Beitrag.

Beginnend mit der **technischen Spezifikation** der Leistungsbeschreibung bietet KI dort Vorteile, wo strukturiert aufbereitete Informationen manuell in standardisierte Formulare überführt werden müssen. Bedarfe bestehen in der Absicherung der Fähigkeit einer KI, Strukturierungsmerkmale zur Spezifikation von technischen Dienstleistungen zielgruppengerecht und domänenübergreifend interpretierbar aufzubereiten (Ability). Strukturierungsansätze, wie in der DIN SPEC 77218, leisten hierbei Abhilfe [9,10]<sup>1</sup>.

Auf Ebene der **Ausschreibung, Verhandlung und Vergabe** bietet sich einerseits die Möglichkeit, KI zur präziseren, domänenübergreifend verständlichen Offenbarung von Bedarfen und der Selbstbeschreibung von industriellen Services mitzudenken. Zudem bedient sich die KI beispielsweise in Form von Large-Language-Modellen den Bausteinen des Text Minings und somit der zielgruppengerechten Aufbereitung relevanter Unterlagen für den Vertragsabschluss [9]. Offen bleibt jedoch die Frage, ob und welche Gewerke bewusst angesprochen werden sollen (Benevolence).

Innerhalb der **Leistungserbringung** kann die Künstliche Intelligenz dazu genutzt werden, um Vor-Ort-Dokumentationen zielgruppengerechter Ereignisse und vorausschauender Bedarfsmeldung abzuwickeln [9]. Die eigentliche, physische Leistung lässt sich nicht durch die KI ablösen. Jedoch bieten sich zahlreiche Möglichkeiten, Large-Language-Modelle dazu zu nutzen, um Instandhaltungsvorgänge bedarfsgerecht anzuleiten. Allerdings setzt dies auch hohe Erwartungen an die Eignung (Ability) der KI voraus, die für die Erbringung einer technischen Dienstleistung erforderlichen Tätigkeiten zu kennen.

---

<sup>1</sup> Hinweis: Teile der in [9,10] referenzierten Ergebnisse sind im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Programms „Zukunft der Wertschöpfung – Forschung zu Produktion, Dienstleistung und Arbeit“ geförderten und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreuten Forschungsprojekts GRIPSS-X (Fördernummer: 02J21D100) entstanden.

Analog zur Ausschreibung [9] muss eine KI-gestützte **technische Freigabe** auf ihre Eignung (Ability) hin überprüft werden, ob sie die dafür erforderlichen Merkmale vollständig erfasst und angemessen beurteilt (Benevolence).

Die Phase **Zahlungsabwicklung** umschließt die Ausführung von finanziellen Transaktionen durch Freigabe einer dritten Instanz. Einer KI zu erlauben, sensible Informationen aufzuspannen, erfordert ein hohes Maß an Vertrauen im wohlwollenden Handeln (Benevolence) der KI und der Zuversicht, dass die KI die mit einer Leistungsabrechnung relevanten Merkmale verursachungsgerecht zuordnet. Auch hier bieten sich die in der DIN SPEC 77218 enthaltenen Merkmale als Orientierungsgröße an [9,10].

In der **Leistungsbeurteilung** lässt sich die KI dazu einsetzen, um Bewertungstexte aus einer Vielzahl an Dokumentationen und Beurteilungen auszuwerten, die für einen Reputationsmechanismus wichtig sind [11]. Allerdings gilt hier die Herkunft von Daten zu prüfen und sicherzustellen, dass die Künstliche Intelligenz einerseits auf integren Datensätzen (Integrity) beruht und diese auch gleich vorurteilsfrei behandelt (Benevolence). Ein Negativbeispiel ist die Ausklammerung von Negativbewertungen.

## **Ausblick: Vertrauen in KI für die Instandhaltung von Morgen**

Der vorliegende Beitrag verdeutlicht die Vielseitigkeit der Einbringung von Künstlicher Intelligenz im Beschaffungsprozess technischer Dienstleistungen, wie der Instandhaltung. Entlang der Phasen werden verschiedene Vertrauenseigenschaften aufgezeigt, die auch im Zusammenspiel von Menschen und KI zu berücksichtigen sind. Zum jetzigen Zeitpunkt lässt sich festhalten, dass KI viele Möglichkeiten der Einbringung im technischen Service bietet, deren Potenzial zunächst stark argumentativ verbleibt. Ob und unter welchen Bedingungen diese vertrauenswürdig erscheinen, gilt es in weiteren Forschungsarbeiten zu untersuchen. Hierbei ist es wichtig, die Verhaltensunsicherheiten von zweierlei Perspektiven zu betrachten: eine Unsicherheit ausgehend von der eigentlichen Anwendung der KI sowie eine Unsicherheit ausgehend von den inhärenten Merkmalen einer Künstlichen Intelligenz.

## Literaturverzeichnis

- [1] DIN 31051. (2019). Grundlagen der Instandhaltung. Beuth Verlag.
- [2] Roth, A.; Benz, C.; Wilga, M.; Hottum, P.; Langes, B.; Lewandowski, T.; Nägele, R.; Peters, C.; Satzger, G. (2024). Value Creation in the Information Economy: The Triad of AI, Service, and Human Work. *Journal of Service Management Research*, 8(1), 2–12. <https://doi.org/10.5771/2511-8676-2024-1-2>
- [3] Große, N.; Wilkesmann, M.; Bommert, A. (2023): Organizational, Sociological and Procedural Un-certainties in Statistical and Machine Learning: A Systematic Literature Review. In: Herberger, D.; Hübner, M. (Hrsg.): *Proceedings of the Conference on Production Systems and Logistics: CPSL 2023 - 2*. Hannover : publish-Ing., 2023, S. 527-537. DOI: <https://doi.org/10.15488/15255>.
- [4] Mayer, R. C., Davis, J. H. & Schoorman, F. D. (1995). An integrative model of organizational trust. *Academy of management review*, 20(3), 709–734.
- [5] Venschott, M. & Vogl, H. (2020). Beschaffung technischer Dienstleistungen am Beispiel Instandhaltung: Auch vermeintlich einfache Tätigkeiten können zum Desaster führen: IUBH Discussion Papers-Business & Management, No. 4.
- [6] Große, N. (2021). Einsatz der Blockchain zur Schaffung von Vertrauen im Beschaffungsprozess technischer Dienstleistungen. In Michael H. (Hrsg.), *Instandhaltungsforum, InFo 2021 Connected*. Tagungsband (S. 7–13). Fraunhofer-Gesellschaft.
- [7] Henke, M., Heller, T. & Stich, V. (2019). Smart Maintenance - der Weg vom Status quo zur Zielvision. *Acatech Studie*. Fraunhofer IML; acatech Deutsche Akademie der Technikwissenschaften.
- [8] Spremann, K. (1990). Asymmetrische information. *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 60(5/6), 561–586.
- [9] Schrage, T.; Eichholz, J.; Große, N.; Karabulut, D.; Kurpicz, B.; Schubert, L.; Hefft, D.; Kiklhorn, D.; Wolny, M.; Azkan, C.; Sadus, M.; Van Deursen, B.; Bistriz, R.; Graefenstein, J.; Neumann, S.; Hahn, M.; Ehnert, P.; Delbrügger, T.; Özkan, E. N. (2025): GRIPSS-X. In: R. Dumitrescu; O. Riedel, M. Henke, J. Metternich, S. Ihlenfeld, C. Koldewey (2025): *Gaia-X in industriellen Wertschöpfungsnetzwerken – Erkenntnisse aus der Förderlinie InGAIA-X Fortschritt-Berichte VDI | Reihe 16 | Nr. 204* Düsseldorf: VDI Verlag, S. 71 – 88.
- [10] DIN SPEC 77218 (2025): Technische Dienstleistungen für industrielle verfahrenstechnische Anlagen - Strukturierung und Kategorisierung der industriellen Leistungskategorien.
- [11] Voss, M. (2004). Privacy preserving online reputation systems. In Y. Deswarte, F. Cuppens, S. Jajodia, L. Wang (Hrsg.), *IFIP Advances in Information and Communication Technology*: Bd. 148. Information Security Management,

Education and Privacy: IFIP 18th World Computer Congress TC11 19th International Information Security Workshops 22–27 August 2004 Toulouse, France (1st ed. 2004, S. 249–264). Springer US; Imprint Springer.

---

# Adaptives Lernen als Instrument zur Nachwuchssicherung in MINT-Studiengängen

Caroline Wortmann, M.Sc.

TU Dortmund, Fakultät Physik

## 1. Problemstellung

In Deutschland entscheiden sich über ein Drittel aller Studierenden für ein MINT-Studium [1]. Allerdings liegt die Studienabbruchquote an deutschen Hochschulen mit 33 % im Maschinenbau und bis zu 60 % in Mathematik und Physik auf einem hohen Niveau [2].

Ebenfalls scheiden ca. 10 % der technischen Auszubildenden in Instandhaltungsberufen innerhalb ihrer Ausbildung aus Ihrem Vertrag aus [3], was den Fachkräftemangel in der Instandhaltung erhöht, da diese nicht als qualifizierte Fachkräfte zur Verfügung stehen.

Auszubildende und Studierende binden für ihre Ausbildung monetäre und personelle Ressourcen in Unternehmen und Hochschulen.

Dies stellt die Wirtschaft vor große Herausforderungen, weil die Anzahl offener Stellen für MINT-Absolvierende seit Jahren größer ist als die Anzahl der Fachkräfte [1], was durch Studienabbrüche verstärkt wird. Deshalb ist es entscheidend, Studierende bei ihrem erfolgreichen Studienabschluss zu unterstützen und den unterschiedlichen Gründen für Studienabbrüche nachzugehen.

Für zahlreiche Studierende stellt die Mathematikintensität eine große, zum Teil demotivierende Hürde und ein Kriterium für den Studienabbruch dar [4, 5]. Jüngste Ergebnisse des Verbundprojekts beVinuS.nrw legen nahe, dass bis zu 80 % der evaluierten Studierenden bereits in der Schulmathematik Defizite aufweisen, was zu gravierenden Problemen in den universitären Fachveranstaltungen führen kann. Um

die für den Studienerfolg erforderliche Motivation aufrechtzuerhalten [6], ist ein adaptives, studienbegleitendes Auffrischungsangebot entstanden, das die Studierenden bei der Aufarbeitung mathematischer Schwächen aus der Schulzeit während der Studieneingangsphase ihres MINT-Studiums individuell unterstützt. Die Vorgehensweise in diesem Beitrag konzentriert sich auf die Fakultät Physik der TU Dortmund als eine der Pilotfakultäten, in der das Angebot für Bachelor-Studierende der Physik und Medizinphysik entwickelt wird. Da (Medizin-)Physik-Absolvierende in ihrem Studium Datenanalyse sowie vielfach auch Programmierung und Simulation erlernen, können sie in der Instandhaltung im Bereich Data Analytics, Predictive Maintenance und in KI-Einsatzgebieten sowie im medizinischen Bereich als technische Verantwortliche für Bestrahlungsgeräte hilfreiche Fachkräfte sein.

### **Forschungsfrage**

Wie kann ein adaptives Lernangebot für Studierende in den MINT-Studiengängen ein Schlüssel zur Verhinderung von Studienabbrüchen sein?

Daraus leiten sich folgende Fragen ab:

- 1.) Wie kann der Ansatz der Predictive Maintenance bei der Lösungsfindung hilfreich sein?
- 2.) Was ist adaptives Lernen?
- 3.) Wie kann adaptives studienbegleitendes Lernen gestaltet werden, mathematische Schwächen studierendenzentriert, orts- und zeitunabhängig aufzuarbeiten?

Die Denkweise der Predictive Maintenance bezieht sich auf Objekte, die nach Vorhersage durch kontinuierliche Analyse oder bekannte Eigenschaften sowie definierte Parameter zustandsorientiert instandgehalten werden [7]. Diese Logik lässt sich auch auf Lehr-Lern-Prozesse von Subjekten anwenden. Anhand kontinuierlicher, detaillierter Analyse geeigneter Kennzahlen soll der Prozess transparenter gestaltet werden, um Studierendenaktivitäten zu monitoren, frühzeitig potentielle Fachwechsel bzw. Studienabbrüche zu prognostizieren sowie den Lernprozess lernförderlicher zu gestalten.

---

## 2. Methodik

Da es sich bei dem Lehrangebot um einen Service der Universität handelt, eignet sich der Design Science Research Process nach [8].

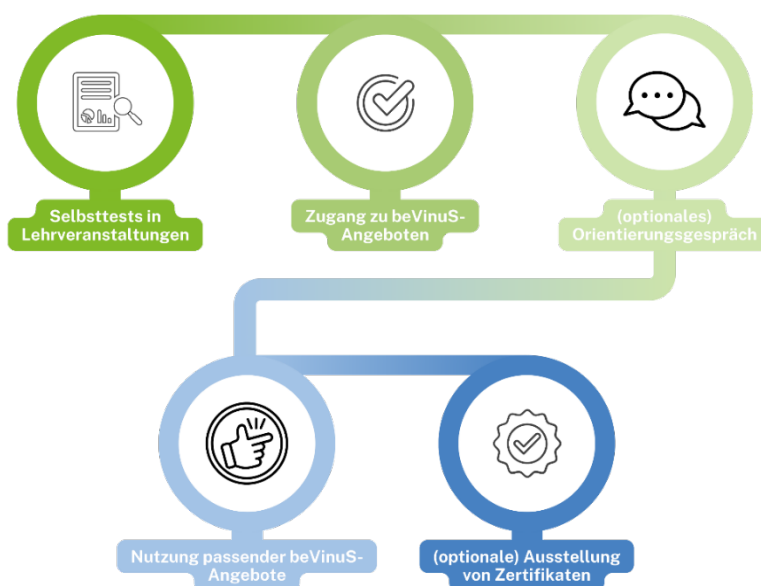
### Problemidentifikation

Die Problemstellung wurde auf zwei unterschiedliche Weisen untersucht. Zum einen wurden empirische Daten zu Studienabbrüchen aus der Fakultät Physik analysiert. Zum anderen wurde das Phänomen durch eine Literaturrecherche theoretisch, deutschlandweit, beleuchtet.

### Zielstellung

Auf Grundlage der Anforderungen entsteht ein studienbegleitendes und studiengangsspezifisches, individuelles Lernprogramm mit drei Schwerpunkten:

- 1.) einem Online-Selbsttest zu Semesterbeginn pro Lehrveranstaltung, der das jeweils vorausgesetzte mathematische Schulwissen erfasst und individuelles Feedback gibt,
- 2.) einem (optionalen) persönlichen Beratungsgespräch an der Hochschule auf Grundlage der Testergebnisse sowie der Zuweisung passender Förderangebote und
- 3.) digitale Lerneinheiten im Lernmanagementsystem (LMS) der Hochschule mit Verknüpfungen zu open educational resources und interdisziplinären Präsenzangeboten innerhalb der Hochschule, z. B. zu Lernstrategien und dem Umgang mit Prokrastination.



**Abbildung 4:** Ablauf des begleitenden Virtuellen nullten Semesters (beVinuS)

## Design und Development

Dazu wurde eine Anforderungsanalyse mithilfe der Taxonomie des selbstregulierten Lernens (SRL) nach [9] erstellt. Außerdem fand eine Literaturrecherche des Begriffs des adaptiven Lernens statt, der das SRL inkludiert und um eine technische Datenanalyse erweitert wird, um die Effektivität und Effizienz des Angebots lehrendenseitig messen zu können. Adaptives Lernen nach [1] ist eine Lehr-Lern-Strategie, um mithilfe von Data Analytics individuelle Lernpfade zu gestalten, die sich an den Bedürfnissen der Lernenden, ihrer Kompetenzen und ihres Leistungsniveaus ausrichten.

Inhaltlich wurden die Mathematikinhalte der Veranstaltungen durch Analyse der Vorlesungsunterlagen und Übungszettel ermittelt und folgenden Kategorien zugeordnet: mathematische Grundlagen, Lineare Algebra, Folgen, Grenzwerte, Stetigkeit, Differential- und Integralrechnung, Stochastik, Arithmetik, Gleichungen, Potenzen, Wurzeln, Logarithmen, Funktionen, Trigonometrie, Logik, Mengen, Relationen und Abbildungen.

Zudem fand ein Workshop mit Lehrenden der ersten drei Semester beider Bachelor-Studiengänge statt, in denen die mathematischen Schulhalte nach Gewichtung und

---

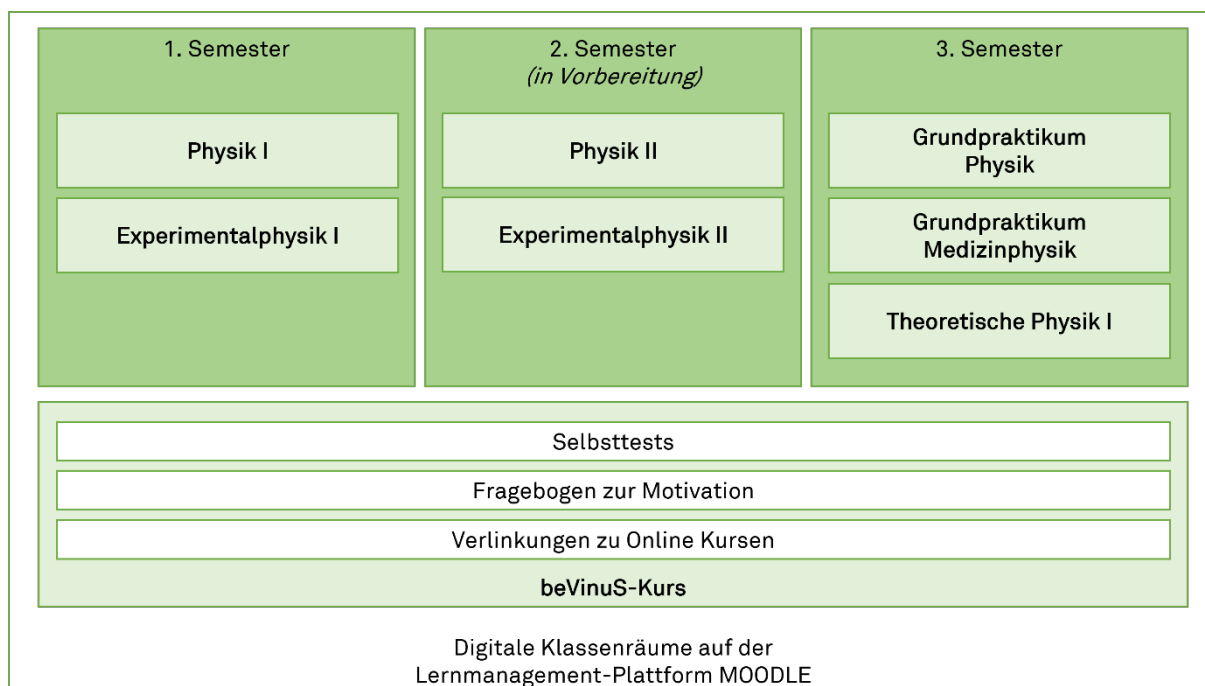
Relevanz der Themen aller Veranstaltungen geclustert wurden, sodass die Tests veranstaltungsspezifisch unterschiedliche Schwerpunkte aufweisen.

Beteiligte Veranstaltungen sind:

- vor dem 1. Semester
  - mathematischer Auffrischkurs,
  - Physik-Vorkurs
- im 1./2. Semester
  - Höhere Mathematik (HM) I und II (Physik, Medizinphysik)
  - Physik I und II (Physik),
  - Experimentalphysik (ExPhy) I und II (Medizinphysik)
- im 3. Semester
  - Anfängerpraktika (Physik, Medizinphysik) und
  - Theoretische Physik I (Medizinphysik).

Unter Berücksichtigung aller vorhergegangenen Schritte wird ein digitaler beVinuS-Kurs im LMS Moodle zusammengestellt, in dem die Selbsttests, Fragebögen zur Motivation der Studierenden, Lerneinheiten zum Auffrischen des mathematischen Schulstoffs sowie Zertifikate am Ende dieser Lerneinheiten hinterlegt sind. Die digitalen Lernräume der Fachveranstaltungen auf Moodle verweisen auf den beVinuS-Kurs. Ebenfalls sind über QR-Codes Verlinkungen von den fachlichen Übungsblättern auf die beVinuS-Inhalte geplant.

Neben den digitalen Angeboten entsteht ein Katalog mit überfachlichen Workshops, u. a. zu Vortragsgestaltung, Prüfungsvorbereitung und Künstlicher Intelligenz.



**Abbildung 5:** Aufbau des beVinuS' innerhalb der Studieneingangsphase im LMS der TU Dortmund

## Demonstration

Seit dem Wintersemester 2024/25 ist der erste Prototyp des Lernangebots in der Fakultät Physik im Einsatz.

## Evaluation

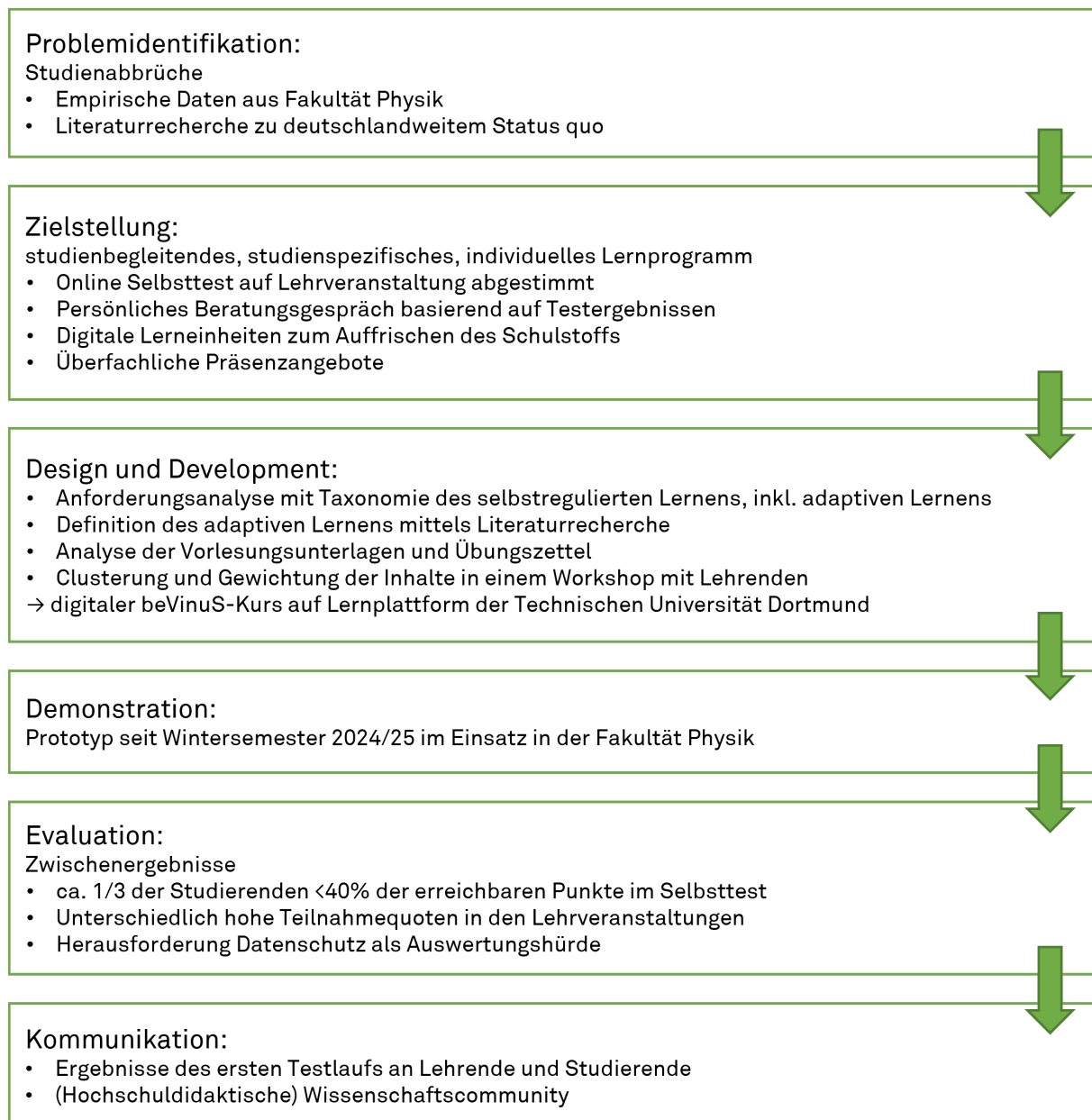
Die Teilnahmequote der Selbsttests lag zwischen 28 % in HM I und 190 % der Erstsemester in ExPhy I. 100 % gilt als der Referenzwert für eingeschriebene Erstsemester. Absolut beteiligten sich zwischen 14 und 46 Studierenden in den (Medizin-)Physik-Veranstaltungen, bei HM I waren 118 Personen. In der HM I sind weitere Studiengänge vertreten, die in anderen Fakultäten verortet und teils nicht Bestandteil von beVinuS.nrw sind. Über alle Veranstaltungen gemittelt erzielte ungefähr ein Drittel der Studierenden im ersten Semester < 40 % der erreichbaren Punkte, im dritten Semester waren es etwas mehr als ein Viertel. Bei HM I ist der Wert der Physik-Studiengänge verzerrt, da dort auch weitere Studiengänge in den Ergebnissen vorhanden sind, die nicht der Fakultät Physik angehören.

Parallel zu den innerhalb der Veranstaltungszeit stattgefundenen Selbsttests bekamen die Studierenden eine Umfrage zur Motivation im Studium, die derzeit noch ausgewertet wird.

Als eine Herausforderung für die Evaluation wird der Datenschutz wahrgenommen. Das Auswerten des Klickverhaltens der Studierenden in den digitalen Lernräumen bedarf der Zustimmung aller im Kurs eingeschriebenen Lehrenden. Die Analyse soll Aufschlüsse geben, wie sich die Studierenden durch den Kurs manövrieren, woraus mögliche Verbesserungsvorschläge bezüglich der Usability der Lernräume sowie der Verlinkung zum beVinuS-Kurs abgeleitet werden. Diese Anforderung hat bisher nur eine der fünf untersuchten Veranstaltungen für die Fakultät Physik erreicht, die nun ausgewertet wird.

### **Kommunikation**

Ergebnisse aus dem ersten Testlauf wurden an die Lehrenden und Studierenden kommuniziert. Außerdem werden sie in der (hochschuldidaktischen) Wissenschaftscommunity geteilt.



**Abbildung 6:** Vorgehen zur Entwicklung des beVinuS' in der Fakultät Physik

### 3. Ausblick

Im Laufe der Pilotierung fiel auf, dass die Aufgaben des Online-Selbsttests noch besser mit den individuellen Lernangeboten vernetzt werden sollten. Außerdem wird durch eine striktere Trennung der Studiengänge noch deutlicher, welche Kompetenzen die Studierenden eines Studiengangs haben, sodass die Angebote noch maßgeschneiderter an die Studierenden angepasst werden können. Aus Lehrendenerfahrung sind die (Medizin)Physik-Studierenden in Mathematik

leistungstärker als die übrigen Studierenden anderer Studiengänge in der gleichen Veranstaltung, was die Zahlen allerdings noch nicht widerspiegeln.

Zu erwägen ist, ob ein ähnliches Vorgehen in den Unternehmen eingesetzt werden kann, damit Auszubildende und neue Fachkräfte im Onboarding-Prozess Inhalte aus der Schulzeit auffrischen können, die für ihren täglichen Einsatz ihrer Tätigkeit von Relevanz sind.

---

## Literaturverzeichnis

- [1] TÖNNSEN K-C. Status and Trend of STEM Education in Germany. In: Lee Y-F, Lee L-S, editors. Status and Trends of STEM Education in Highly Competitive Countries: Country Reports and International Comparison; 2022. p. 97–140.
- [2] HEUBLEIN U., HUTZSCH C., SCHMELZER R. Die Entwicklung der Studienabbruchquoten in Deutschland. DZHW; 2022.
- [3] BUNDESINSTITUT FÜR BERUFSBILDUNG. Datenreport zum Berufsbildungsbericht 2023. Informationen und Analysen zur Entwicklung der beruflichen Bildung. Bonn; 2023.
- [4] NIÑO-ROJAS F., LANCHEROS-CUESTA D., JIMENEZ-VALDERRAMA M.T., GÓMEZ ARDILA S.E., MESTRE CARRILLO G. I. Intelligent Tutoring System for Teaching and Learning Mathematics. In: Rocha Á, Ferrás C, Ibarra W, editors. Information Technology and Systems. Cham: Springer International Publishing; 2023. p. 39–48.
- [5] VINOGRADOVA M., MALCHUKOVA N., DOROFEEV S. Mathematical competence development of bachelor of engineering. Journal of Physics: Conference Series 2019; 1333(7):72028.
- [6] Rojas-Suárez J. P., Vergel Ortega M., Gallardo Pérez H. J. Resilience in successful math and physics students. Journal of Physics: Conference Series 2020; 1587(1):12015.
- [7] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. Instandhaltung - Begriffe der Instandhaltung: Dreisprachige Fassung EN 13306:2017. Berlin: Beuth; Februar 2018.
- [8] PEFFERS K., TUUNANEN T., GENGLER C., ROSSI M., HUI W., VIRTANEN V., BRAGGE J. The design science research process: A model for producing and presenting information systems research. Proceedings of First International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology DESRIST 2006.
- [9] SCHLIMBACH R., LILLIG S., KHOSRAWI-RAD B. Selbstreguliertes, digitales Lernen - Eine Taxonomie zu den Problemfeldern. In: Gemeinschaften in Neuen Medien. Digitalität und Diversität. Mit digitaler Transformation Barrieren überwinden! Technische Universität Dresden; 2022. p. 70–81.

# **Industrial Metaverse und Extended Reality (XR): Anwendungen in Unternehmensnetzwerken und intelligenter Instandhaltung**

Austin N. King, Tan Gürpınar

Business Analytics & Information Systems, Quinnipiac University

## **1. Aktuelle Entwicklungen im Bereich Industrial Metaverse und Extended Reality (XR)**

Erst im vergangenen Jahr prognostiziert eine Univdatos-Studie ein rasantes Wachstum des Marktes industrieller Metaverse-Lösungen – mit einer jährlichen Wachstumsrate von 24,5 % bis 2030 (Univdatos Market Insights, 2024). Der globale Markt wird damit bis 2030 auf ein Volumen von 250 Milliarden USD geschätzt (McKinsey & Company, 2023). Auch während der letzten Consumer Electronics Show (CES) wurden zunehmend Themen rund um das Metaversum sowie Extended Reality (XR) Technologien behandelt, die virtuelle Welten unterstützen und für den Menschen erlebbar machen. Siemens und NVIDIA stellten hier ihre Plattform „Industrial Metaverse Collaboration Network“ für digitale Zwillinge und simulationsbasierte Entscheidungsfindung vor, mit der die Nutzung von künstlicher Intelligenz (KI) und vernetzten Systemen in der Industrie weiter vorangetrieben werden soll (Computerwoche, 2024).

Diese Entwicklungen zeigen, wie der Trend zu virtuellen Arbeitsumgebungen und intelligenten vernetzten Systemen wächst. Insbesondere die Verknüpfung von XR, Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) mit industriellen Anwendungen ermöglicht es Unternehmen, sowohl Produktionsprozesse als auch Instandhaltungsmaßnahmen zu optimieren und komplexe Herausforderungen in Echtzeit sowie vor allem kollaborativ zu bewältigen (Küpeli & Gürpınar, 2023). In

diesem Artikel sollen deshalb aktuelle Projekte zur Nutzung von industriellen Metaverse-Lösungen vorgestellt und vor dem Hintergrund wachsender Herausforderungen in Unternehmensnetzwerken und der Instandhaltung beleuchtet werden. Ziel ist es, dem Leser einen besseren Überblick über aktuelle Lösungen zu verschaffen und den Technologie-Stack sowie den betriebswirtschaftlichen Nutzen zu erläutern, der durch die Metaverse-Lösungen erreicht werden soll.

## 2. Anwendungen industrieller Metaverse-Lösungen in der Unternehmenspraxis

Zur strukturierten Darstellung praktischer Anwendungsprojekte industrieller Metaverse-Lösungen wird in Tabelle 1 eine Übersicht führender Unternehmen aufgezeigt, die neuaufkommende Technologien integrieren und innerhalb virtueller Metaversen nutzen. Dabei werden sowohl Potenziale zur Verbesserung von Produktionsprozessen und Effizienzsteigerungen aufgezeigt als auch Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der intelligenten Instandhaltung.

Die Bandbreite der Anwendungen, die sich zumeist noch im Pilotstadium befinden, reicht von der Nutzung datenbasierter Analysen zu Automatisierungszwecken bis hin zu simulationsgestützten Prozessen für eine nachhaltigere Ressourcennutzung. Die Übersicht liefert nicht nur Einblicke in die spezifischen Technologien, sondern auch Nutzenfaktoren, die die Motivation der bestehenden Ansätze beschreiben. Dabei wird auf bereits etablierten Kategorien aufgebaut und deutlich gemacht, wie vielfältig die Einsatzmöglichkeiten von Industrial Metaverse-Lösungen in unterschiedlichen Branchen sind (Vaghani et al., 2022, Düdler et al., 2021).

**Tabelle 1:** Projekte zur Nutzung von Industrial Metaverse-Lösungen [Karamitsos et al., 2024, de la Roche et al., 2024]

Kategorie	Organisation	Art der Nutzung
Analytics	Tampere University	Virtual Analytics ersetzt 70 % der visuellen Inspektionen und 65 % der routinemäßigen HVAC-Verwaltungsaufgaben, wodurch Zeit und Kosten eingespart werden.

	GTR	Optimierung von Abfahrts- und Ankunftsplänen sowie vorausschauende Wartung und frühzeitige Anomalie-erkennung, um die Betriebseffizienz und Zuverlässigkeit der Systeme zu steigern.
	Renault	Anwendung datenbasierter virtueller Steuerung zur Optimierung von Produktionsprozessen, was bis Ende 2025 Produktionskosteneinsparungen von USD 330 Millionen ermöglichen soll.
	BMW	Co-Produktion und Nutzung von Echtzeitdaten zur Optimierung von Produktionsprozessen und Produktdesigns, wodurch Effizienz und Qualität verbessert werden.
	Tesla	Nutzung von Echtzeitanalysen und vorausschauender Wartung zur Minimierung von Ausfallzeiten sowie zur Sicherstellung der Produktqualität und Zuverlässigkeit.
Digital Twins	Equinor	Virtuelle Prototypentests auf Basis von digitalen Zwillingen zur Optimierung der Produktauswahl und zur Reduzierung des Ressourcenverbrauchs.
	Space Perspective	Durchführung virtueller Tests der thermischen Umgebung für das Raumfahrzeuginnere, um Sicherheits- und Komfortstandards zu optimieren.
	Michelin	Einsatz digitaler Zwillinge und simulationsbasierter Analysen zur Überwachung von KPI-Leistungen und Optimierung der Lieferkette, was zu Einsparungen von USD 11 Millionen an Logistikkosten führen kann.
Simulations	Equinor	Anwendung nachhaltiger Entscheidungsfindung mithilfe virtueller Analysen, um ressourcenschonende Produktauswahl zu fördern.
	BMW	Verkürzung der Produktionsplanungszeiten um 30 % durch den Einsatz digitaler Simulationen und Echtzeitdatenanalysen.
	Space Perspective	Optimierung des Produktdesigns und der Lieferantenauswahl durch simulationsbasierte Entscheidungsfindung.
	Intel	Nutzung virtueller Simulationen wie Kollisions- und Straßentests zur Verbesserung der Fahrzeugentwicklung und -sicherheit.

	Hyundai	Optimierung physischer Ressourcen durch virtuelle Überwachung und simulationsgestützte Planung, um Kosten und Materialeinsatz zu reduzieren.
VR & AR	Bimbo	Nutzung von Extended Reality, um die Produktivität zu steigern und Mitarbeiter durch digitale Technologien zu unterstützen und Investitionsausgaben um 10-15 % zu senken.
	Lowe's	Verwendung von Augmented Reality für cross-company Bestandsmanagement, Kundenservice und Mitarbeiterunterstützung, um Transparenz und Effizienz in der Supply Chain Zusammenarbeit zu erhöhen und die Kundenzufriedenheit zu steigern.
	Toyota	Einsatz von Microsoft HoloLens 2 zur Optimierung von Mitarbeiterschulungen, Effizienzsteigerung und Förderung der Zusammenarbeit zwischen Abteilungen.

### 3. Intelligente Instandhaltung mit industriellen Metaverse-Lösungen

Die zuvor dargestellten Anwendungsbeispiele verdeutlichen, wie Lösungen des Industrial Metaverse die intelligente Instandhaltung unterstützen und optimieren können. Besonders Predictive Analytics spielt eine zentrale Rolle, indem eine datenbasierte Automatisierung ermöglicht wird, die manuelle Eingriffe reduziert und gleichzeitig die Präzision notwendiger Maßnahmen erhöht. Hierdurch werden Wartungsbedarfe frühzeitig erkannt und besser eingeschätzt, wodurch Betriebskosten gesenkt und die Effizienz der Instandhaltung gesteigert werden kann. Durch Metaverse-Lösungen wird hier eine Grundlage geschaffen, um komplexe Daten zu vernetzen, Analysen gemeinschaftlich durchzuführen und so ein höheres Maß an Transparenz und Entscheidungsunterstützung bereitzustellen.

Digitale Zwillinge spielen dabei eine zentrale Rolle, da sie virtuelle Echtzeitmodelle physischer Systeme abbilden und so Einblicke in den Systemzustand ermöglichen. Beispiele wie die Zeitersparnis bei der Produktionsplanung von BMW oder die KPI-Überwachung von Michelin verdeutlichen, wie diese Technologie genutzt werden kann, um Anomalien zu erkennen, Wartungspläne zu optimieren und die Betriebszeit

---

von Anlagen zu verlängern. Solche Anwendungen befähigen Wartungsteams, frühzeitig auf potenzielle Probleme zu reagieren, wodurch die Lebensdauer der Anlagen verlängert und ungeplante Ausfälle reduziert werden können.

Simulationstechnologien ergänzen diesen Ansatz, indem sie die Möglichkeit bieten, verschiedene Szenarien in einer virtuellen Umgebung zu testen, bevor Änderungen in der realen Welt umgesetzt werden. Beispiele wie die virtuelle Ressourcenüberwachung von Hyundai oder Intels Kollisionssimulationen zeigen, wie Verschleiß oder Ineffizienzen vorhergesagt und geeignete Wartungsstrategien entwickelt werden können. Durch den Vergleich verschiedener Wartungsansätze lassen sich so Maßnahmen identifizieren, die Systemleistung sichern und gleichzeitig Ausfallzeiten minimieren.

VR und AR erweitern die Möglichkeiten der intelligenten Instandhaltung durch immersive Schulungsangebote und bieten Echtzeitunterstützung für Techniker. Toyotas Einsatz der HoloLens für die Mitarbeiterschulung verdeutlicht, wie AR-Effizienz und das Qualifikationsniveau der Techniker verbessern kann, während der Einsatz bei Lowe's zur Bestandsverwaltung die Genauigkeit und Sichtbarkeit von Prozessen erhöht. XR erlaubt es somit Technikern, komplexe Systeme besser zu visualisieren, präzise Schritt-für-Schritt-Anleitungen zu nutzen und Wartungsarbeiten effizienter durchzuführen, was sowohl Reparaturzeiten als auch Kosten erheblich reduziert.

## Literaturverzeichnis

- [1] UNIVDATOS Industrial Metaverse Market: Current Analysis and Forecast, <https://univdatos.com/report/industrial-metaverse-market/> , 2024
- [2] MCKINSEY & COMPANY The Metaverse: Driving Value in the Mobility Sector, <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/the-metaverse-driving-value-in-the-mobility-sector> , 2023.
- [3] KÜPELI, O., GÜRPINAR, T. Towards a Definition of the Industrial Metaverse Applied in Context of the Blockchain and Web3 Ecosystem. Blockchain and Cryptocurrency (B2C) Conference, 2023.
- [4] VAGHANI, A., GÜRPINAR, T., GROSSE, N. A Taxonomy Characterizing Blockchain-Empowered Services for the Metaverse. Blockchain and Cryptocurrency (B2C) Conference, 2022.
- [5] DUEDDER, B., FOMIN, V., GUERPINAR, T., HENKE, M., ET AL. Blocknet report: Exploring the blockchain skills concept and best practice use cases, arXiv, 2021.
- [6] KARAMITSOS, I., USER, E., AL-QADI, S., ATTIAS, S., BELLING, A., ET AL. A Holistic Introduction of Virtual Worlds for Policy Makers, INATBA Report, 2024
- [7] DE LA ROCHE, M., VOLODER, E., BANERJEE, A., GUERRA, C., ET AL. Report on Artificial Intelligence and Blockchain Convergences, INATBA Report, 2024.

---

# Instandhaltung in der Luftfahrt und im Schienenverkehr – Trends und Synergien

Dr. Hagen Schaudt

DB Fahrzeuginstandhaltung GmbH

Alireza Dadashi

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

## 1. Einleitung

Die Instandhaltung ist ein Schlüsselfaktor für die Sicherheit, Zuverlässigkeit und Effizienz kritischer Verkehrssysteme, wie der Luftfahrt und des Schienenverkehrs. In beiden Branchen stehen Unternehmen angesichts globaler Trends wie technologischer Innovationen, wachsender Nachhaltigkeitsanforderungen und steigender Kosten unter Druck, ihre Wartungsstrategien zu transformieren. Technologische Entwicklungen wie Predictive Maintenance, digitale Zwillinge und Künstliche Intelligenz revolutionieren traditionelle Ansätze, während der politisch-gesellschaftliche Fokus auf Ressourcenschonung und Emissionsminderung zu neuen Herausforderungen führt.

Trotz deutlicher Unterschiede in Betriebsdynamik, regulatorischen Rahmenbedingungen und technologischen Anforderungen gibt es signifikante Parallelen in den Instandhaltungsansätzen beider Branchen. Diese Parallelen eröffnen Möglichkeiten für den Wissenstransfer und die Entwicklung branchenübergreifender Synergien, während die Unterschiede wertvolle Einblicke in spezifische Optimierungsstrategien liefern können.

Dieser Beitrag untersucht gemeinsame Trends und diskutiert Chancen und Herausforderungen der Instandhaltung in der Luftfahrt und im Schienenverkehr, unter

Anwendung des PESTEL-Schemas. Trends sind hierbei Veränderungen, die sich über einen gewissen Zeitraum fortsetzen [1]. Das PESTEL-Schema ist ein etabliertes Werkzeug zur strategischen Analyse und dient dazu, externe Einflussfaktoren auf Organisationen und Branchen systematisch zu identifizieren und zu bewerten. Es umfasst sechs Dimensionen: Politik, Wirtschaft, Gesellschaft, Technologie, Umwelt und Recht [2].

Aufbauend auf dieser Analyse werden mögliche Synergien zwischen den beiden Branchen diskutiert. Ziel ist es, Potenziale für Kooperationen aufzuzeigen, die Bedeutung interdisziplinärer Ansätze zur Bewältigung der aktuellen und künftigen Anforderungen beider Branchen zu verdeutlichen und damit zukunftsfähige Instandhaltungsstrategien zu entwickeln.

## 2. Trends im Vergleich

Die Instandhaltung in der Luftfahrt und im Schienenverkehr steht vor einer Vielzahl von Trends, die ihre Ausgestaltung und Bedeutung tiefgreifend beeinflussen. Das PESTEL-Schema bietet einen strukturierten Rahmen, um diese Entwicklungen zu analysieren. Eine Gegenüberstellung einiger Trends beider Branchen ist Tabelle 1 zu entnehmen. Im Folgenden wird jeweils für jede PESTEL-Dimension eine Auswahl relevanter Trends aufgezeigt.

Es sei jedoch angemerkt, dass im Rahmen dieses Beitrags keine holistische Analyse angestrebt wird. Dieser soll vielmehr dazu dienen, die Potenziale einer gemeinsamen Betrachtung und resultierende Synergien als Impulse für die Zukunft aufzuzeigen.

### **Politik**

Aufgrund der verstärkten geopolitischen Unsicherheiten und den damit einhergehenden Lieferkettenstörungen sowie den steigenden Energiekosten, steht die Instandhaltungsindustrie vor großen Herausforderungen. Gleichzeitig ist durch die steigende Relevanz von Nachhaltigkeit ein politischer Bedeutungszuwachs der Instandhaltung zu erwarten. Allerdings berücksichtigen politische Förderprogramme die Instandhaltung nur als Bestandteil der klassischen Forschungsgebiete, wie z.B. in Luftfahrtforschungsprogrammen [3].

---

## **Wirtschaft**

Der Kostendruck sowie gleichzeitig wachsende Instandhaltungsmärkte zwingen Unternehmen beider Branchen dazu, ihre Prozesse effizienter zu gestalten [4]. Da bspw. Fluggesellschaften zunehmend darauf setzen, die betriebliche Lebensdauer älterer Flugzeuge zu verlängern, ergeben sich für die Instandhaltung weitere wirtschaftliche Potenziale [4]. Ebenso drängen die Hersteller von Zügen immer mehr auf den Instandhaltungsmarkt [5]. Des Weiteren erfordert die Einführung neuer Technologien in bestehende Instandhaltungsstrukturen hohe Investitionen, die insbesondere für kleinere Akteure ein finanzielles Risiko darstellen können. Erwähnenswert ist ebenso, dass obwohl kreislaufwirtschaftliche Prinzipien einer Instandhaltungsbranche grundsätzlich inhärent sind, die zunehmenden Entwicklungen der Kreislaufwirtschaft durchaus ökonomische Potenziale bieten.

## **Gesellschaft**

Der steigende gesellschaftliche Druck auf die Luftfahrtindustrie, nachhaltiger zu operieren, wirkt sich auch auf die Instandhaltung aus. Nicht nur was den Ressourceneinsatz, sondern auch die Rückverfolgbarkeit von Instandhaltungsleistungen, angeht. Insgesamt gewinnen beide Themen in der Gesellschaft zunehmend an Bedeutung. So werden neue Konzepte wie bspw. der digitale Produktpass im Rahmen des Rechts auf Reparatur [5] durch diese Entwicklungen stärker getrieben und sollten schließlich von beiden Instandhaltungsbranchen berücksichtigt werden. Zudem verändern demografische Trends wie der Fachkräftemangel die Branchen, da qualifiziertes Personal für komplexere Instandhaltungstechnologien benötigt wird. Dabei sind auch Veränderungen bestimmter Berufsbilder zu beachten, da die technologischen Entwicklungen deren Anforderungsprofile zukünftig stark verändern können.

## **Technologie**

In beiden Instandhaltungsindustrien sind Entwicklungen im Rahmen präventiver und zustandsbasierter Instandhaltung von großer Bedeutung, da sie dem hohen Effizienzdruck begegnen sowie die Zuverlässigkeit und Sicherheit der Anlagen erhöhen. Hierbei wären bspw. MachineLearning, KI-basierte Kamerabefundung, IoT und Digitale Zwillinge besondere Treiber. Insbesondere die Datenverfügbarkeit und -

---

qualität sowie fortschrittliche Analyseverfahren sind hier als Herausforderungen zu nennen.

Die Mensch-Maschine-Interaktion, insbesondere die robotische Unterstützung des Menschen, z.B. bei der Inspektion von schwer zugänglichen Wagonunterböden [6] oder Flugzeug-Tanks [7], stellt in der Luftfahrt- und Schienenfahrzeuginstandhaltung ein zentrales Technologiefeld dar. Auch die additive Fertigung rückt immer weiter in den Fokus, da somit erhebliche Lieferzeitenreduktionen von Ersatzteilen erreicht werden können [8,9].

Der zunehmende Einzug alternativer Antriebstechnologien, wie bspw. Wasserstoffantriebe, ist für die Instandhaltung beider Industrien hoch relevant, da sie weitreichende Anforderungen an die Instandhaltungsinfrastruktur und -prozesse [10,11,12] stellen.

### **Ökologie**

Grundsätzlich wird der Instandhaltung ökologisch eine wichtige Doppelrolle zuteil: Zum einen als Enabler für verlängerte Lebenszyklen, zum anderen mit ressourcenschonenden und recyclingfähigen Prozessen, wie bspw. für die Triebwerkswäsche.

Als fortschreitendes, ökologisches Risiko können hier extreme Wetterereignisse genannt werden. So können bspw. Hitze oder Starkregen zu physischen Schäden an Infrastruktur, Unterbrechung der Lieferketten und Betriebsunterbrechungen führen. Für Werke und Hangars ergeben sich dadurch zukünftig zusätzliche Anforderungen, was bspw. Kühlung, aber auch Absicherungen gegenüber Überflutungen angeht.

### **Recht**

Regulatorische Entwicklungen, etwa im Bereich Cybersecurity und Datenschutz, gewinnen an Bedeutung, da digitale Technologien immer stärker integriert werden. Rechtliche Unsicherheiten, insbesondere bei der Haftung in KI-gestützten Systemen, stellen eine Herausforderung dar. Neben allen sicherheitsrelevanten Richtlinien und Gesetzen, welchen die Instandhaltungsbranchen unterliegen, sind auch die zunehmend umfangreicher werdenden ESG-Regulierungen zu beachten.

---

Außerdem ist der Bereich Transport und Verkehr ein wesentlicher Bestandteil der kritischen Infrastruktur [13]. Daher könnten auch Teile der KRITIS-Verordnung für Instandhaltungssparten relevant sein - in welchem Umfang, ist jedoch noch zu prüfen.

### **3. Ableitung von Synergien für die Instandhaltungsbranchen**

Die Instandhaltung in der Luftfahrt und im Schienenverkehr weist zahlreiche Überschneidungen auf, die durch aktuelle Trends in beiden Branchen weiter verstärkt werden. Während die jeweiligen Anforderungen und Betriebsbedingungen unterschiedlich sind, gibt es bedeutende Gemeinsamkeiten, die Chancen für eine Zusammenarbeit bieten.

So wäre ein Erfahrungsaustausch zur Analyse und Umsetzung gesetzlicher Regulierungen wie bspw. ESG oder KRITIS von Vorteil. Das kann der Aufwands- und Komplexitätsreduktion dienen und potenzielle Blind Spots aufdecken. Ebenso könnte der Austausch zu industrieübergreifenden Standards von Instandhaltungsprozessen vertieft werden, um regulatorische Rahmenbedingungen mitzugestalten. Beispiele wären hierbei Umweltmanagement, Qualitätsmanagement, Digitalisierung, Datenstandards sowie Standards zu Condition-Based-Maintenance.

Technologisch gibt es eine große Bandbreite an Themen, die für beide Instandhaltungsbranchen von Interesse sind, da sie bspw. Kosten-/Effizienz- oder Qualitätsvorteile mit sich bringen. Dabei stellen Digitalisierung & Automatisierung mit 87 % die Top-Prioritäten aktueller Transformationsvorhaben im deutschsprachigen Raum, wobei jedoch ca. 70 % der Vorhaben ihre Ziele nicht erreichen [13]. Um diese Herausforderungen bewältigen zu können, bieten sich für Unternehmen in den Instandhaltungsbranchen, neben dem Erfahrungsaustausch in der praktischen Erprobung neuer Technologien, Kooperationen mit Forschungseinrichtungen an. Allerdings findet eine branchenübergreifende, systematische Förderung der Instandhaltungsforschung nicht ausreichend statt. Fördermittel für derartige kooperative Forschungsvorhaben würden dazu beitragen, branchenübergreifende Fortschritte für die Instandhaltungspraxis zu generieren.

In Bezug auf die Knappheit qualifizierter Fachkräfte und die Veränderung von Berufsbildern/-profilen gilt es auch zu überlegen, wie sich Unternehmen in Zukunft intensiver in Aus- und Weiterbildung engagieren. Gerade in Zeiten hoher technologischer Dynamik ist lebenslanges Lernen im Beruf unabdingbar. Branchenübergreifende Initiativen für instandhaltungsspezifisches Wissen, bis hin zu eigenen Ausbildungszentren, können zur Sicherung der Kompetenzen von Morgen beitragen.

Dies sind nur einige Möglichkeiten, die aus einer gemeinsamen Betrachtung von Trends der Luftfahrt- und Schienenfahrzeuginstandhaltung abgeleitet werden können. Dennoch ist ersichtlich, wie beide Branchen voneinander profitieren können. Entsprechend soll dieser Beitrag anregen, zukünftige Herausforderungen der Instandhaltung durchaus branchenübergreifend und vor dem Hintergrund potenzieller Synergien anzugehen.

## 4. Abbildungen und Tabellen

**Tabelle 2:** Überblick verschiedener Trends der Instandhaltungsbranchen

Trend-Dimension	Instandhaltung in der Luftfahrt	Instandhaltung im Schienenverkehr
Politik	Dedizierte Förderung Lieferkettenstörungen	Migration Lieferkettenstörungen
Wirtschaft	Wachsende Märkte Transfer-Kooperationen Kreislaufwirtschaft Fachkräftemangel	Wettbewerbsdynamik IH-Markt Kreislaufwirtschaft Fachkräftemangel New Work
Gesellschaft	Recht auf Reparatur Demografischer Wandel	Wissensgesellschaft Diversität Digitale Ethik
Technologie	Künstliche Intelligenz (KI) Robotik	Künstliche Intelligenz (KI) Robotik

	Sensorik Internet of Things (IoT) Digital Twin Predictive & Condition-Based Maintenance (P/CBM) Ferndiagnose Human in the Loop AR/VR Alternative Antriebe Additive Fertigung	Sensorik Wireless Future Internet of Things (IoT) Digital Twin Predictive & Condition-Based Maintenance (P/CBM) DIY-Computing Human Immersion Cybersicherheit Advanced Materials Alternative Antriebe Additive Fertigung
Ökologie	Lebenszyklusverlängerung Ressourceneffizienz	Green IT Extreme Wetterereignisse
Recht	Recht auf Reparatur	ESG-RegulierungKRITIS

## Literaturverzeichnis

- [1] Blechschmidt, J. QUICK GUIDE TRENDMANAGEMENT: Wie sie Trendwissen in ihrem Unternehmen wirksam nutzen. Berlin: Springer, 2024.
- [2] Yüksel, I. Developing a Multi-Criteria Decision Making Model for PESTEL Analysis. International Journal of Business and Management, 7(24), 52-66, 2012.
- [3] BMWK (2024): Förderung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Rahmen des siebten nationalen zivilen Luftfahrtforschungsprogramms Klima. - Erster Programmaufruf (LuFo Klima VII-1) -. Online verfügbar unter [https://www.dlr.de/de/pt-lf/foerderprogramme/bundesebene/das-luftfahrtforschungsprogramm-des-bundes-lufo-klima/lufo-klima-vii/banz-at-19-04-2024-b1.pdf/@@download/file/LuFo%20VII-1\\_Bekanntmachung.pdf](https://www.dlr.de/de/pt-lf/foerderprogramme/bundesebene/das-luftfahrtforschungsprogramm-des-bundes-lufo-klima/lufo-klima-vii/banz-at-19-04-2024-b1.pdf/@@download/file/LuFo%20VII-1_Bekanntmachung.pdf).
- [4] Langefeld, Bernhard (2021): The lean MRO matrix: How to sustainably boost process and digital efficiency. Hg. v. Roland Berger. Online verfügbar unter <https://www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/The-lean-MRO-matrix-How-to-sustainably-boost-process-and-digital-efficiency.html>, zuletzt geprüft am 30.01.2025.
- [5] Siemens AG. Siemens Mobility invests in digital service depot for trains in Dortmund, <https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/siemens-mobility-invests-digital-service-depot-trains-dortmund>, zuletzt geprüft am 30.01.2025.
- [6] Bundesregierung (2024): Das Recht auf Reparatur kommt. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte-der-bundesregierung/nachhaltigkeitspolitik/reparieren-statt-wegwerfen-2022782>, zuletzt geprüft am 30.01.2025.
- [7] Deutsche Bahn AG (2024): <https://www.deutschebahn.com/de/konzern/Aktuelles/Zuwachs-bei-der-DB-Roboterhund-Spot--11859248>, zuletzt geprüft am 30.01.2025.
- [8] Heilemann, F., Dadashi, A., & Wicke, K. (2021). Eeloscope—Towards a Novel Endoscopic System Enabling Digital Aircraft Fuel Tank Maintenance. Aerospace, 8(5), 136. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.3390/aerospace8050136>
- [9] DB Fahrzeuginstandhaltung GmbH (2024): <https://www.db-fzi.com/fahrzeuginstandhaltung-de/Individuelle-Loesungen/3D-druck-7175902>, zuletzt geprüft am 30.01.2025.
- [10] Aero International (2024): <https://www.aerointernational.de/aviation-nachrichten/additive-fertigung-3d-druck-luftfahrt-macht-unabhaengig.html>, zuletzt geprüft am 30.01.2025.

- 
- [11] Euro Rail Express (2024): <https://www.eurailpress.de/nachrichten/fahrzeuge-komponenten/detail/news/db-fahrzeuginstandhaltung-werk-bremen-wird-testzentrum-fuer-wasserstoff.html>, zuletzt geprüft am 30.01.2025.
- [12] Hoff, T., Becker, F., Dadashi, A., Wicke, K., & Wende, G. (2023). Implementation of Fuel Cells in Aviation from a Maintenance, Repair and Overhaul Perspective. *Aerospace*, 10(1), 23. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.3390/aerospace10010023>
- [13] Institut für Flughafenwesen und Luftverkehr > Luftverkehrsforschung, DEPA 2050 – Development Pathways for Aviation up to 2050. Köln-Porz: <https://elib.dlr.de/142185/>, 2021.
- [14] Bundesministerium der Justiz. Verordnung zur Bestimmung Kritischer Infrastrukturen nach dem BSI-Gesetz <https://www.gesetze-im-internet.de/bsi-kritisv/BJNR095800016.html>, zuletzt geprüft am 05.02.2025.
- [15] Pustelniak et. al. 2025 - Porsche Consulting - Change Management Compass. Stuttgart, 2025

---

# Optimierte Produktion durch Synchronisation von Instandhaltung und MES: Auswahlstrategien für zukunftsichere Fertigungssysteme

Marius Alfred Bohlen

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML

Luisa Marie Strehl

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML

## 1. Die Synchronisation von Produktion und Instandhaltung

Die enge Zusammenarbeit zwischen Produktion und Instandhaltung ist entscheidend für den reibungslosen Ablauf in einem produzierenden Unternehmen. Eine mangelnde Abstimmung führt oft zu ungeplanten Stillständen, hohen Kosten und Qualitätsproblemen. Wird hingegen eine Synchronisation sichergestellt, lassen sich zahlreiche Vorteile realisieren. Zu diesen Vorteilen gehört unter anderem eine höhere Maschinenverfügbarkeit, da vorausschauende Wartung ungeplante Ausfälle minimiert und Instandhaltungen gezielt in produktionsarme Zeiten verlegt werden können. Dies steigert die Effizienz und sorgt für einen stabilen Produktionsprozess. Zudem lassen sich Kosten senken, da teure Notfallreparaturen vermieden und Ersatzteile rechtzeitig beschafft werden [1]. Auch die Produktqualität profitiert, da gut gewartete Maschinen zuverlässiger arbeiten und die Ausschussquote sinkt [2]. Ein weiterer Vorteil ist die höhere Flexibilität, da abgestimmte Teams schneller auf Störungen reagieren können. Unternehmen, die Produktion und Instandhaltung optimal synchronisieren, steigern langfristig ihre Produktivität und Wettbewerbsfähigkeit. [3]

Neben der besseren Abstimmung zwischen Produktion und Instandhaltung spielt auch der gezielte Einsatz moderner Technologien eine entscheidende Rolle. Insbesondere die datenbasierte Instandhaltung ermöglicht es, Wartungsmaßnahmen noch effizienter zu planen und ungeplante Stillstände weiter zu reduzieren. Die systematische Erfassung und Analyse von Betriebs- und Maschinendaten bilden dafür die Basis [4]. Traditionelle Instandhaltungsstrategien, die vornehmlich reaktiv agieren, führen jedoch häufig zu hohen Ausfallzeiten und ineffizientem Ressourceneinsatz [5]. Moderne MES (Manufacturing Execution Systems) verknüpfen Informationen aus verschiedenen Quellen wie ERP, SCADA und IoT-Sensoren und nutzen Algorithmen, um Wartungsbedarfe präzise vorherzusagen. Die Synchronisation von Wartungszyklen mit Produktionsplänen ermöglicht die gezielte Umsetzung präventiver Maßnahmen, wodurch ungeplante Stillstände reduziert werden. Diese datengetriebene Strategie ermöglicht eine frühzeitige Planung von Instandhaltungsmaßnahmen und deren nahtlose Integration in den Produktionsprozess. Das Ergebnis: geringere Stillstandzeiten, effizientere Ressourcennutzung und eine spürbare Steigerung der Gesamtanlageneffektivität. [6]

MES fungieren als zentrale Steuerungseinheit, die den gesamten Fertigungsprozess überwacht und steuert. Sie bieten eine Echtzeit-Überwachung von Maschinen- und Prozessdaten, was eine sofortige Reaktion auf Störungen und unvorhergesehene Ereignisse ermöglicht. Durch die Integration verschiedener Datenquellen aus unterschiedlichen Systemen wie ERP und SCADA, schaffen MES eine einheitliche Datenbasis, die für eine präzise Planung und Steuerung von Produktions- und Wartungsprozessen unerlässlich ist. Diese gemeinsame Datenbasis fördert den abteilungsübergreifenden Informationsaustausch, was zu einer verbesserten Entscheidungsfindung führt. Zu den weiteren wichtigen Funktionen gehören automatisierte Reporting- und Analysetools, die eine kontinuierliche Überprüfung der Maschinenleistung und der Betriebsprozesse ermöglichen. So lassen sich nicht nur Wartungsbedarfe frühzeitig erkennen, sondern auch strategische Entscheidungen auf fundierten, datenbasierten Analysen treffen. Die nahtlose Integration von MES in den Produktionsablauf sorgt dafür, dass alle relevanten Informationen in Echtzeit zur Verfügung stehen und Produktions- sowie Wartungsprozesse optimiert werden. [7]

In der heutigen Fertigungslandschaft gibt es eine Vielzahl von MES, die je nach Anbieter, Industrie und spezifischen Anforderungen unterschiedliche Ansätze und Funktionalitäten bieten. Jedes MES zielt darauf ab, den Produktionsprozess zu optimieren und die Verbindung zwischen der strategischen Planung und der operativen Fertigung zu verbessern. Doch die Vielzahl der verfügbaren Lösungen kann die Entscheidung für das richtige System erschweren. MES variieren in ihrer Komplexität, den Funktionsbereichen und der Integration mit anderen Unternehmenssoftwarelösungen. Einige Systeme sind darauf ausgerichtet, spezifische Prozesse wie die Fertigungsliniensteuerung oder Materialflussmanagement zu unterstützen, während andere umfassendere Funktionen wie Qualitätsmanagement, Wartungsmanagement und Personalplanung beinhalten. Weitere Unterscheidungen gibt es in Bezug auf die Benutzerfreundlichkeit, die Skalierbarkeit und den Grad der Automatisierung. [8]

Ein weiterer Aspekt ist der Grad der Flexibilität der Systeme. Manche MES-Lösungen bieten eine hohe Anpassungsfähigkeit und können durch spezifische Anpassungen oder Zusatzmodule auf die individuellen Bedürfnisse eines Unternehmens zugeschnitten werden. Andere wiederum bieten standardisierte Lösungen, die schneller implementiert werden können, aber oft weniger flexibel sind. [9]

## **2. Schwierigkeiten bei der Auswahl des richtigen MES für spezifische Unternehmensbedürfnisse**

Die Wahl des richtigen MES kann für Unternehmen eine große Herausforderung darstellen, da die Auswahl eines Systems, das zu den spezifischen Anforderungen und Zielen eines Unternehmens passt, mit verschiedenen Unsicherheiten verbunden ist. Unternehmen müssen sorgfältig prüfen, welche Lösung ihre spezifischen Bedürfnisse und Anforderungen am besten erfüllt und dabei Faktoren wie Flexibilität, Kosten, Integration und Zukunftsfähigkeit berücksichtigen. Eine fundierte Analyse kann dabei helfen, das passende System zu finden und so die Effizienz und Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens langfristig zu sichern. [10] Tabelle 1 zeigt beispielhaft eine Auswahl von Kriterien, die Unternehmen bei der Auswahl eines MES beachten sollten.

**Tabelle 3:** Beispielhafte Kriterien zur Auswahl eines MES [8, 9]

<b>Kriterien</b>	<b>Beschreibung</b>
Funktionsumfang und Anpassungsfähigkeit	Bewertung der verfügbaren Funktionen und der Anpassbarkeit an spezifische Unternehmensanforderungen
Integration und Interoperabilität	Fähigkeit zur Integration in bestehende Systeme sowie effiziente Datenzusammenführung
Benutzerfreundlichkeit	Analyse der Bedienbarkeit und Benutzererfahrung des Systems
Skalierbarkeit	Fähigkeit des Systems, mit Unternehmenswachstum und veränderten Anforderungen umzugehen
Kosten	Gesamtkosten für Implementierung und Betrieb sowie Kosten-Nutzen-Verhältnis
Flexibilität der Reporting- und Analysefunktionen	Möglichkeit zur Bereitstellung von Echtzeitdaten und individuellen Berichten für unterschiedliche Nutzergruppen
Sicherheit und Datenschutz	Sicherheitsmechanismen zum Schutz der Daten und Einhaltung von Datenschutzvorgaben
Support und Schulung	Verfügbarkeit von Support und Schulungsressourcen für die Nutzer
Benutzer- und Geräteunterstützung	Kompatibilität mit verschiedenen Benutzern und Geräten, einschließlich mobiler Unterstützung
Technologie und Innovationsfähigkeit	Zukunftsfähigkeit des Systems durch neue Technologien wie IoT, KI oder Cloud-Computing
Referenzen und Erfahrungen	Erfahrungswerte von anderen Nutzern und Marktstellung des Anbieters

Neben der sorgfältigen Auswahl des richtigen MES ist auch der Prozess der Entscheidungsfindung von entscheidender Bedeutung. Angesichts der Vielzahl an verfügbaren Lösungen und der unterschiedlichen Anforderungen jedes Unternehmens kann die Wahl des passenden Systems schnell zu einer komplexen Herausforderung werden. In diesem Zusammenhang erweist sich eine professionelle Auswahlbegleitung als äußerst wertvoll. Sie sorgt dafür, dass der gesamte

Auswahlprozess strukturiert und zielgerichtet verläuft, wobei alle relevanten Faktoren berücksichtigt werden. Durch die Expertise und Erfahrung der Auswahlbegleiter wird der Vergleich verschiedener MES auf einer fundierten Basis durchgeführt. Dabei fließt nicht nur das Wissen um die aktuellen Markttrends, sondern auch eine eingehende Analyse der spezifischen Bedürfnisse des Unternehmens ein. So wird gewährleistet, dass das System nicht nur die gegenwärtigen Anforderungen erfüllt, sondern auch langfristig mit den sich wandelnden Bedürfnissen mitwachsen kann. Die Auswahlbegleitung hilft, die besten Lösungen zu identifizieren und sorgt dafür, dass alle relevanten Aspekte berücksichtigt werden, bevor eine Entscheidung getroffen wird. [10] Abbildung 1 zeigt drei Phasen von der Auswahl bis zur Einführung eines MES.

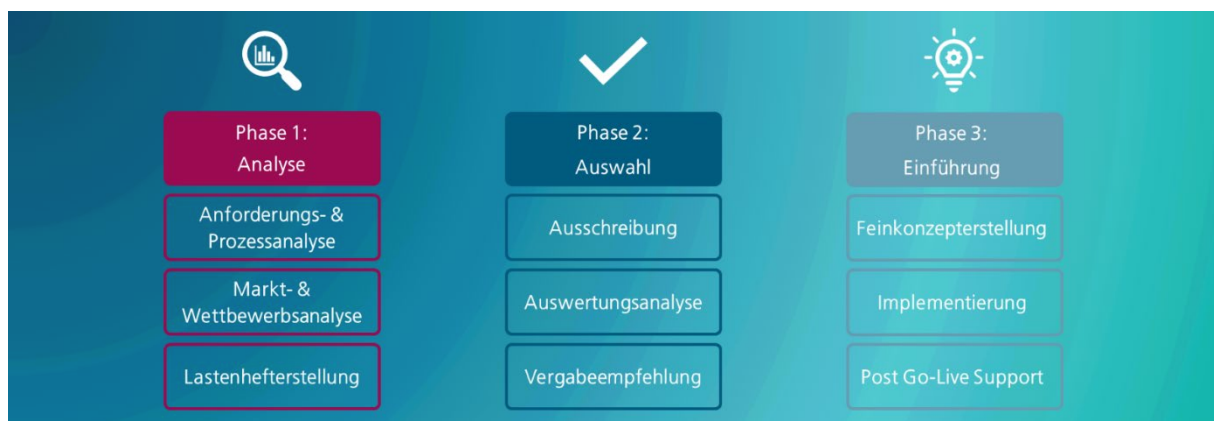


Abbildung 7: Effektive Schritte zur Auswahl und Einführung eines MES [10]

## Fazit

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Auswahl und Implementierung eines geeigneten MES eine grundlegende Rolle für die Optimierung von Produktions- und Instandhaltungsprozessen spielt. Die enge Zusammenarbeit der beiden Funktionsbereiche, gepaart mit dem gezielten Einsatz moderner Technologien wie MES und datenbasierter Instandhaltung, trägt maßgeblich dazu bei, Maschinenverfügbarkeit, Ressourcennutzung und Produktqualität zu steigern. Dabei wird durch die Synchronisation von Wartungszyklen und Produktionsplänen eine effiziente, präventive Wartung ermöglicht. Angesichts der Vielzahl an MES-Lösungen und ihrer unterschiedlichen Funktionen ist der Auswahlprozess jedoch alles andere als

trivial. Unternehmen müssen sicherstellen, dass das gewählte System nicht nur ihre aktuellen Anforderungen erfüllt, sondern auch zukunftsfähig und skalierbar ist. Eine professionelle Auswahlbegleitung kann in diesem Kontext eine wertvolle Unterstützung bieten, indem sie den Prozess strukturiert, objektiv und effizient gestaltet. Auf diese Weise können Unternehmen die besten Lösungen identifizieren, Risiken minimieren und ihre Wettbewerbsfähigkeit langfristig sichern.

Für weiterführende Informationen oder eine individuelle Beratung stehen wir Ihnen jederzeit zur Verfügung. Besuchen Sie unsere Webseite unter [MES-Logistics.de](http://MES-Logistics.de) oder kontaktieren Sie uns direkt.

## Literaturverzeichnis

- [1] KÜHN, H. Kostenoptimierung durch präventive Wartung. 1. Aufl., Berlin: Springer Verlag, 2016.
- [2] WAGNER, P. & HOFFMANN, L. Qualitätsmanagement in der modernen Produktion. 1. Aufl., Weinheim: Wiley-VCH, 2019.
- [3] MEIER, A. Datenbasierte Instandhaltung in der Fertigungsindustrie. 1. Aufl., München: Hanser Verlag, 2020.
- [4] FISCHER, M. & LORENZ, S. IoT und Industrie 4.0: Strategien für die Instandhaltung. 1. Aufl., Berlin: Springer, 2021.
- [5] REINHARDT, S. Effizienzsteigerung durch Manufacturing Execution Systems. *Produktion & Management*, 6(2): 34–50, 2018.
- [6] BÖTTCHER, J. Technologische Entwicklungen in der Fertigungssteuerung. 1. Aufl., Berlin: Deutscher Industrie Verlag, 2017.
- [7] HOFF, T. & KRÜGER, W. Digitalisierung in der Produktion: Integration von SCADA, ERP und MES. In: *Digitale Transformation in der Industrie*, Berlin: Springer, S. 15–34, 2019.
- [8] SCHNEIDER, U. Entscheidungsfindung bei der Auswahl von MES-Systemen. *Journal of Production Research*, 10(1): 75–92, 2022.
- [9] BAUER, K. & LEHMANN, S. Anpassungsfähigkeit von MES-Lösungen im Vergleich. *International Journal of Production Economics*, 227: 1076–1087, 2020.
- [10] SCHMIDT, R. & MÜLLER, F. Produktionsmanagement und Instandhaltung – Synergien in der Industrie. 1. Aufl., Berlin: Verlag Technik, 2018.

# Der Weg zur „Unbreakable Plant“: Die Herausforderung der Verfügbarkeit und des Verschleißmanagements

Sebastian Fink

INspares GmbH

## 1. Unbreakable Plant

Der Wunsch nach einer „unbreakable Plant“, frei übersetzt „100%-ige Verfügbarkeit“, führt unweigerlich zu der Überlegung, wann und wie verschleißbehaftete Bauteile auszutauschen sind. Dies setzt voraus, dass erkennbar ist, welche Komponenten welcher Art von Verschleiß ausgesetzt sind – und das über lange Zeiträume hinweg.

Es ist unbestritten, dass bewegte Bauteile früher oder später das Ende ihres Abnutzungsvorrates erreichen. Dies kann in einigen Fällen bereits nach wenigen Tagen oder Wochen geschehen, während andere Bauteile erst nach mehreren Jahren an ihre Grenzen stoßen.

In diesem Kontext ist es wichtig, einen Blick auf die gesamte Produktionsanlage zu werfen und auch jene Teile zu betrachten, die bei einer ersten Analyse möglicherweise nicht im Fokus standen.

Elektronische Bauteile werden dabei häufig als „verschleißfrei“ und somit unkritisch betrachtet! Diese Einschätzung erweist sich über Jahre und Jahrzehnte hinweg allerdings oft als unzutreffend. Die Technologie entwickelt sich kontinuierlich weiter, und die Einführung energieeffizienterer Alternativen führt z.B. dazu, bestehende Systeme schnell veraltet sind.

Ein anschauliches Beispiel hierfür ist die Evolution der Hallenbeleuchtung: Von Glühlampen über Metallampflampen und Leuchtstoffröhren hat sich die Technologie

mittlerweile auf LEDs weiterentwickelt, wobei jeder Schritt mit einem signifikanten Einsatzpotenzial einherging.

Die Berücksichtigung dieser Aspekte ist entscheidend, um die Verfügbarkeit und Effizienz von Produktionsanlagen langfristig zu gewährleisten. Ähnlich verhält es sich mit anderen kritischen Komponenten wie Robotik, Sicherheitseinrichtungen, Industriesteuerungen sowie PCs für die Industrieautomation. Letztere Systeme müssen zudem unter dem Gesichtspunkt der Cybersicherheit permanent kritisch geprüft werden, um sie vor mutwilligen Eingriffen durch böswillig motivierte „Angreifer“ zu schützen.

Wie die Erfahrung zeigt, sind somit Steuerungssysteme, die zunächst als nahezu verschleißfrei galten, während ihres Betriebs keineswegs „unbreakable“. Sie können durchaus unerwartet ausfallen – auch wenn dies nicht sofort offensichtlich ist.

Um solchen Ausfällen vorzubeugen, gibt es seit einigen Jahren verschiedene Möglichkeiten, in Steuerungssystemen eine „Früherkennung“ zu implementieren: Schaltspielzähler sind ein Beispiel für eine bewährte Technik, mit der sich das Lebensende elektrisch schaltender Komponenten zuverlässig prognostizieren lässt. Entscheidend ist, dass diese Warnungen ernst genommen werden und im Rahmen geplanter Stillstände eine rechtzeitige Instandsetzung erfolgt.

Ein häufiges Hindernis stellt dabei der Konflikt zwischen rationaler Entscheidungsfindung und emotionaler Wahrnehmung dar: Da zum Zeitpunkt der Warnmeldung kein akuter Fehler aufgetreten ist, neigen viele dazu, dem Prinzip „Never change a running system“ zu folgen. Das Gefühl sagt „Es läuft doch noch“, obwohl der Verstand weiß, dass der Ausfall bereits absehbar ist. Wenn die betroffenen Bauteile jedoch rechtzeitig ausgetauscht werden, lässt sich die Anlagenverfügbarkeit langfristig steigern. Dem gegenüber stehen jedoch höhere Ersatzteil- und Personalkosten.

Dieses Dilemma lässt sich gut mit dem Beispiel der Profiltiefe von Autoreifen vergleichen: Auch hier tauscht man die Reifen vorsorglich, solange noch genügend Abnutzungsreserve vorhanden ist. Während im Automobilbereich gesetzliche Regelungen den Austausch von Reifen vorschreiben, bleibt es in der Industrie jedem Unternehmen selbst überlassen, die Kosten eines ungeplanten Stillstands gegen die

Ausgaben für präventive Instandhaltung abzuwägen. Optimalerweise werden diese Kosten bereits in einer Total Cost of Ownership (TCO)-Analyse erfasst und regelmäßig überprüft.

Ein wenig beachteter Aspekt, der an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben sollte, ist die festgelegte Nutzungsdauer von Sicherheitskomponenten. So wie der Gesetzgeber eine Mindestprofiltiefe für Autoreifen vorschreibt, gibt es auch in verschiedenen Normen für Sicherheitstechnik Vorgaben, nach denen sicherheitsrelevante Komponenten regelmäßig ausgetauscht werden müssen. Diese zeitlichen Vorgaben sind keine „Empfehlungen“, sondern verpflichtende Anforderungen, die bei der Instandhaltung berücksichtigt werden müssen.

Um die oben genannten Maßnahmen zur Früherkennung und präventiven Instandhaltung erfolgreich umzusetzen, ist somit ein funktionierendes Abkündigungsmanagement unerlässlich. Wenn eine Komponente das Ende ihrer Lebensdauer erreicht und erst dann festgestellt wird, dass keine Ersatzteile mehr verfügbar sind, ist es oftmals schon zu spät. In einem solchen Fall droht ein ungeplanter und potenziell langwieriger Anlagenstillstand, der teuer und problematisch ist.

Ein Plantmanager, der frühzeitig auf die standardisierte Überwachung der verbauten Komponenten gesetzt hat, ist hier klar im Vorteil. Diese Strategie hilft, den Aufwand erheblich zu reduzieren und die Ersatzteilversorgung zu vereinfachen. Wer jedoch mit einer Vielzahl unterschiedlichen Komponentenhersteller arbeiten muss – und das ist in den meisten modernen Anlagen der Fall – steht dabei vor einer nahezu unlösbaren Aufgabe:

Wo sollte man anfangen? Welche Probleme müssen zuerst angegangen werden? Leider erhält das Management von der Instandhaltung häufig nur vage Aussagen wie „alles ist alt“ oder „alles muss raus“. Diese Art von Feedback verhindert meistens eine zielgerichtete Problemlösung und strategische Planung.

Um diese Herausforderung systematisch und effektiv zu adressieren, hat die Firma INspares das Thema Abkündigungsmanagement unter Berücksichtigung der herstellerneutralen EN 62402-Norm für Obsoleszenz-Management aufgegriffen. Es wurde eine umfassende Datenbank entwickelt, in der die verbauten

Steuerungskomponenten katalogisiert und mit den relevanten Daten wie z.B. den Abkündigungsdaten ergänzt wurden. Diese Daten können dann nach einer Bestandsaufnahme der verbauten Komponenten im Unternehmen abgeglichen werden.

So erhalten Instandhaltungsmitarbeiter jederzeit Zugriff auf die aktuelle Dokumentation der Bauteile sowie erstmalig eine klare Übersicht über den Abkündigungsstatus der Anlagenkomponenten. Damit lässt sich z.B. frühzeitig erkennen, bei welchen Bauteilen in Zukunft Engpässe bei der Ersatzteilversorgung auftreten könnten. Auf dieser fundierten Informationsbasis können dann strategische Entscheidungen über Umbauten, Retrofits oder auch den Austausch von Komponenten getroffen werden, um die Anlagen langfristig wirklich „unbreakable“ zu halten – also ihre Verfügbarkeit und Betriebssicherheit zu maximieren.

Eine Prozessskizze mit dem Ziel der "Unbreakable Plant": Die heutigen Herausforderungen der Verfügbarkeit und des Verschleißmanagements

Die Umsetzung des Konzepts einer „unbreakable Plant“, was übersetzt eine nahezu 100 %-ige Verfügbarkeit über sehr lange Zeiträume bedeuten würde, führt zu einer fundamentalen Betrachtung der Verschleiß- und Wartungsprozesse in Produktionsanlagen, das Überwachen regulierender Vorgaben und Prüfscenarien. Insbesondere geht es darum, die Lebenszyklen von Bauteilen zu erkennen und frühzeitig zu prognostizieren, wann diese verschleißbedingten Ausfällen unterliegen. Diese Betrachtung erfordert eine detaillierte Analyse, um festzustellen, welche Komponenten welchen Arten von Verschleiß über längere Betrachtungszeiträume ausgesetzt sind.

Es ist allgemein anerkannt, dass mechanische, elektrische und elektronische Bauteile aufgrund des fortlaufenden Betriebs früher oder später ihre Funktionsfähigkeit verlieren. In seltenen Fällen können diese Bauteile bereits nach wenigen Tagen oder Wochen das Ende ihrer Lebensdauer erreichen, während andere Teile über Jahre hinweg zuverlässig arbeiten. Es ist daher essenziell, die gesamte Produktionsinfrastruktur zu berücksichtigen, auch jene Komponenten, die in ersten Betrachtungen möglicherweise als „unkritisch“ klassifiziert wurden.

Ein klassisches Beispiel für einen oft verkannten Verschleißfaktor ist der Bereich der elektronischen Bauteile: Diese werden häufig als „verschleißfrei“ und damit als unkritisch eingestuft, was sich jedoch bei genauerer Analyse über Jahre und Jahrzehnten hinweg als unzutreffend herausstellen kann. Chemische und physikalische Prozesse, die erst über mehrere Jahre ablaufen, sind zumeist im Verborgenen. Zu nennen wären die „Zinnpest“, vereinfacht das chemische Versetzen von Lötzinn, oder „Zinnwhisker“. Hierbei entstehen durch mechanische und thermische Spannungen dünne nadelartige Auswucherungen, die im ungünstigen Fall Kurzschlüsse oder Signalverschleppungen auslösen können. Gerade bei Bauteilen, die für die funktionale Sicherheit verwendet werden, steigt das Risiko über die Jahre kontinuierlich an.

Die fortlaufende technologische Weiterentwicklung führt zum Beispiel dazu, dass bestehende Systeme mit veralteten Technologien schnell ineffizient werden. Ein eindrucksvolles, wenn auch unkritisches, Beispiel hierfür stellt die Entwicklung der Hallenbeleuchtung dar: Von der Glühlampe über Metalldampflampen und Leuchtstoffröhren hat sich die Technologie mittlerweile zu energieeffizienten LEDs gewandelt, wobei jeder dieser Übergänge erhebliche Einsparpotenziale mit sich brachte.

Ein solches Umdenken ist notwendig, um die Verfügbarkeit und Effizienz von Produktionsanlagen langfristig zu gewährleisten. Dies gilt ebenso für kritische Komponenten wie Robotiksysteme, Sicherheitseinrichtungen und industrielle Steuerungen, die besonders in Bezug auf Maschinen- und Cybersicherheit fortlaufend überprüft werden müssen.

Die betrieblichen Erfahrungen zeigen, dass Steuerungssysteme, die ursprünglich als nahezu „verschleißfrei“ galten, in der Praxis keineswegs unverwundbar sind. Auch bei diesen Bauteilen kann es zu unvorhergesehenen Ausfällen kommen, die nicht immer sofort erkennbar sind. Um solchen Problemen entgegenzuwirken, existieren mittlerweile Technologien zur Früherkennung von Ausfällen in Steuerungssystemen. Ein Beispiel hierfür ist die Implementierung von Schaltspielzählern, mit deren Hilfe sich die verbleibende Lebensdauer elektrischer Schaltelemente zuverlässig prognostizieren lässt. Essenziell für die zuverlässige Verfügbarkeit ist, dass solche

Warnungen ernst genommen und notwendige Reparaturmaßnahmen im Rahmen geplanter Stillstände durchgeführt werden.

Ein überproportional häufig auftretendes Problem bei der Instandhaltung ist jedoch der Konflikt zwischen rationaler Entscheidungsfindung und emotionaler Wahrnehmung: Trotz der prognostizierten Warnungen tendieren viele Unternehmen dazu, an bestehenden Systemen festzuhalten, solange keine akuten Fehler auftreten. Der Grundgedanke „Never change a running system“ führt dazu, dass der Verschleiß oft nicht rechtzeitig erkannt und notwendige Wartungsmaßnahmen verzögert werden. Der Austausch von Bauteilen und Komponenten zu einem rechtzeitigen Zeitpunkt würde die Anlagenverfügbarkeit langfristig steigern. Allerdings ist dies häufig mit zusätzlichen Kosten für Ersatzteile und Arbeitsaufwand verbunden.

Dieses Dilemma kann mit dem Beispiel der Profiltiefe von Autoreifen verglichen werden: Auch hier werden Reifen in der Regel ausgetauscht, solange noch eine ausreichende Profiltiefe vorhanden ist. Während im Automobilssektor gesetzliche Regelungen den Austausch vorschreiben, ist in der Industrie jedes Unternehmen selbst dafür verantwortlich, die Kosten eines unvorhergesehenen Stillstands gegen die Ausgaben für präventive Instandhaltungsmaßnahmen abzuwägen. Eine Total Cost of Ownership (TCO)-Analyse hilft dabei, diese Entscheidungen strategisch geplant und sachlich fundiert zu treffen. Schwierig wird es, wenn die Anlagen über die einst geplanten Einsatzzeiten betrieben werden. Diese aus wirtschaftlichen Zwängen wachsende Anforderung bedeutet oftmals eine erschwerte Informationsbeschaffung für eine nachträgliche TCO-Analyse, zusätzliche Vorgaben aus den technischen Regelwerken bis hin zu mangelnden Fachkräften mit den Kenntnissen der „alten“ Technik und/oder Programmiersprache.

Ein wenig beachteter, aber dennoch wesentlicher Aspekt in diesem Zusammenhang ist die festgelegte Nutzungsdauer von Sicherheitskomponenten. Ähnlich wie beim Austausch von Autoreifen, der durch gesetzliche Vorgaben geregelt ist, existieren auch für sicherheitsrelevante Bauteile klare normierte Austauschfristen, die nicht als Empfehlung, sondern als verpflichtende Anforderungen durch den Komponentenhersteller gelten. Diese müssen in der Instandhaltungsstrategie berücksichtigt werden, um die Betriebssicherheit zu jedem Zeitpunkt zu gewährleisten.

Der Erfolg präventiver Wartungsstrategien hängt in der Realität also auch von einem funktionierenden Abkündigungsmanagement ab. Hat man dies nicht und es wird eine Komponente erst aufgrund des Erreichens ihrer maximalen Lebensdauer ausgetauscht, kann der Fall eintreten, dass keine Ersatzteile mehr am Markt verfügbar sind. Dies führt unweigerlich zu teuren und aufwendigen Ersatzmaßnahmen und somit zu einem potenziell langwierigen und teuren Produktionsstillstand. Eine frühzeitige und systematische Überwachung der verbauten Komponenten gibt den Instandhaltungsmanagern im Gegensatz dazu die Möglichkeit, rechtzeitig Ersatzteile zu beschaffen und strategische Entscheidungen zur Vermeidung von Engpässen zu treffen. Diese Relevanz zeigt sich besonders in Anlagen, die mit einer Vielzahl unterschiedlicher Herstellerkomponenten arbeiten, da die Komplexität des Managements hier stark zunimmt.

Ein Unternehmen, das sich frühzeitig mit dem Thema Abkündigungsmanagement beschäftigt und auf eine standardisierte Überwachung der Komponenten setzt, hat entscheidende Vorteile: Diese Strategie reduziert den Wartungsaufwand erheblich und vereinfacht die Ersatzteilversorgung. Um die Herausforderung einer herstellerübergreifenden Überwachung zu adressieren, wurde vom Gesetzgeber die EN 62402-Norm für das Obsoleszenz-Management entwickelt, die eine systematische Dokumentation und Analyse der verwendeten Komponenten ermöglicht. So können Anlagenbetreiber den Abkündigungsstatus aller Bauteile überwachen und frühzeitig Engpässe in der Ersatzteilversorgung erkennen. Auf dieser sachlich fundierten Grundlage können dann gezielt strategische Entscheidungen über Umbauten oder Retrofitmaßnahmen getroffen werden, um die langfristige Verfügbarkeit und Betriebssicherheit der Anlagen zu gewährleisten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Weg zur „unbreakable Plant“ nicht nur die Implementierung präventiver Instandhaltungsmaßnahmen erfordert, sondern auch ein durchdachtes Abkündigungsmanagement sowie eine kontinuierliche strategische Planung, um die langfristige Effizienz und Verfügbarkeit von Produktionsanlagen sicherzustellen.

## Literaturverzeichnis

- [1] Marcel Hahn „Ein unverzichtbarer Kollege: Adams unendliches Wissen“
- [2] Jens Reißenweber „Unbreakable Plant“ in der Produktion, Verlagswesen für Bücher und Zeitschriften

# **Übertragbarkeit KI-basierter Chatbots für das Wissensmanagement in der Instandhaltung und einhergehende Potentiale**

Eva Paulina Ziehm, Jonas Eichholz

Technische Universität Dortmund / Lehrstuhl für Unternehmenslogistik

## **Zusammenfassung**

Die fortschreitende Digitalisierung und Automatisierung in der industriellen Instandhaltung bringt zahlreiche Herausforderungen mit sich, insbesondere hinsichtlich der Integration von Künstlicher Intelligenz (KI) zur Optimierung von Entscheidungsprozessen. Dieser Beitrag beleuchtet die Herausforderungen der Digitalisierung in der Instandhaltung, einschließlich der Notwendigkeit hochwertiger Daten und der Unterstützungsbedarfe bei der Mitarbeiterqualifikation. Zudem wird die Übertragbarkeit von Konzepten aus der Daseinsvorsorge untersucht, einer Branche, die ähnlich komplexe Systeme betreibt. Ein besonderer Fokus liegt auf dem Einsatz von Chatbots als innovative Lösung für das Wissensmanagement in der Instandhaltung. Diese Systeme können den Zugang zu dezentral gespeicherten Informationen erleichtern und gleichzeitig Entscheidungsprozesse beschleunigen, indem sie relevante Daten bündeln und benutzerfreundlich bereitstellen. Der Artikel kommt zu dem Schluss, dass KI-basierte Chatbots ein vielversprechendes Werkzeug zur Effizienzsteigerung in der industriellen Instandhaltung darstellen.

## **1. Aktuelle Herausforderungen der Instandhaltung**

Die fortschreitende Digitalisierung und Automatisierung stellen die industrielle Instandhaltung vor tiefgreifende technologische und organisatorische Herausforderungen. Echtzeitdaten, Datenanalysen und Simulationen ermöglichen es, Instandhaltungsstrategien effizienter und präziser zu gestalten [1]. Das Ziel besteht

---

darin, Kosten zu senken, die Betriebszeit sowie die Lebensdauer der Anlagen zu maximieren und somit die Wettbewerbsfähigkeit zu sichern [1,2]. Der Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) in der Instandhaltung eröffnet erhebliche Potenziale zur Optimierung von Entscheidungsprozessen und zur Steigerung der Effizienz [3]. Doch obwohl diese Technologien theoretisch vielversprechend sind, bestehen erhebliche Hürden bei ihrer praktischen Umsetzung. Eine Herausforderung besteht im Bedarf an umfangreichen und konsistenten Daten für die Datenanalyse sowie in der damit einhergehenden Notwendigkeit einer hohen Datenqualität. In diesem Zusammenhang führen die zunehmend komplexen, datengetriebenen Technologien zu neuen Anforderungen an das Ressourcen-, Informations- und Wissensmanagement [4]. Zusätzlich zur Notwendigkeit, technisches Wissen verfügbar zu machen, steigt auch der Bedarf an spezifischen Qualifikationen. Die Mitarbeiter\*innen sind ein zentraler Bestandteil von Instandhaltungsprozessen, wodurch sie entsprechend im Umgang mit modernen Technologien geschult werden müssen [2]. Das Wissensmanagement wird zur zentralen Herausforderung, um Mitarbeiter\*innen für die Arbeitsweisen entlang einer digitalisierten Instandhaltung optimal zu qualifizieren und ihre Fähigkeiten für den Umgang mit neuen Technologien und Methoden sicherzustellen.

## **2. Übertragbarkeit von Konzepten aus der Daseinsvorsorge**

Um ein effizientes Wissensmanagement in der industriellen Instandhaltung zu realisieren, können Konzepte aus anderen Branchen adaptiert werden, die mit ähnlichen Herausforderungen konfrontiert sind. Eine solche Branche ist die Daseinsvorsorge, die sämtliche Dienstleistungen zur Sicherstellung der Grundversorgung von Städten umfasst, wie Energieversorgung, Sozialdienstleistungen und öffentliche Verkehrsmittel [5]. Die Daseinsvorsorge steht, ähnlich wie die Instandhaltung vor der Aufgabe, komplexe und miteinander vernetzte Systeme zu betreiben, bei denen Ausfälle oder Veränderungen einzelner Teilsysteme weitreichende Konsequenzen für die Versorgungssicherheit haben können [6]. Ähnlich wie in der industriellen Instandhaltung sind die Arbeitsprozesse in der Daseinsvorsorge häufig zeitkritisch, da Ausfälle unmittelbare Auswirkungen auf die Bevölkerung haben

können. Des Weiteren steigert die Zusammenarbeit verschiedener Akteure, wie kommunalen Einrichtungen, privaten Unternehmen und Bürger\*innen, die Komplexität, ähnlich der interdisziplinären Zusammenarbeit in der Instandhaltung [7]. Eine weitere Gemeinsamkeit sind die Instandhaltungsprozesse, da auch in der Daseinsvorsorge Instandhaltungsprozesse betrieben werden, etwa bei der Instandsetzung und Reinigung von Straßen, Brücken und anderen Infrastruktureinrichtungen.

Sowohl in der Instandhaltung als auch in der Daseinsvorsorge werden bereits erste KI-Technologien eingesetzt, wobei der Fokus derzeit vorrangig auf der Automatisierung von Prozessen liegt. In der Daseinsvorsorge umfassen diese Systeme beispielsweise die Identifikation von Abfallablagerungen, die Fahrgastidentifikation oder das Condition Monitoring von öffentlichen Infrastrukturen wie Brücken [8,9]. Auch in der Instandhaltung wird KI zur Optimierung von Wartungsprozessen eingesetzt, beispielsweise durch Echtzeitüberwachung und -auswertung [10]. Während aktuelle KI-Anwendungen sowohl in der Instandhaltung als auch in der Daseinsvorsorge vorrangig auf Prozessautomatisierung abzielen, gewinnt auch ihr Potenzial für ein effektives Daten- und Wissensmanagement zunehmend an Bedeutung. Insbesondere der Einsatz von Chatbots kann hierbei eine zentrale Rolle spielen, indem sie den Zugang zu umfangreichen, dezentral gespeicherten Informationen erleichtern und somit Verarbeitungsprozesse beschleunigen. Während der Einsatz solcher Technologien in der industriellen Instandhaltung bislang nur begrenzt thematisiert wird, werden Konzepte in der Daseinsvorsorge erforscht, die als Grundlage für eine Übertragung dienen können.

### **3. Chatbots für die Instandhaltung**

In der Literatur wird die Nutzung von Chatbots zur Instandhaltung vorrangig im Kontext der fachfremden Instandhaltung betrachtet. Dabei geht es vor allem darum, Privatpersonen oder nicht speziell ausgebildetes Personal bei der Wartung und Reparatur von Geräten zu unterstützen [11,12]. Für die professionelle Instandhaltung in industriellen Kontexten existieren hingegen nur wenige dokumentierte Lösungen. Ein Anknüpfungspunkt ist die Anwendung von KI-basierten Chatbots im Bereich der

Daseinsvorsorge. Bisher kamen Chatbots hier ebenfalls hauptsächlich zum Einsatz, um der Bevölkerung den Zugang zu Informationen über Verwaltungsprozesse, Bearbeitungsverfahren und Ansprechpersonen zu erleichtern [13,14]. Ziel ist es, Bürger\*innen einen schnellen, barrierefreien Zugang zu relevanten Informationen zu ermöglichen [13,14]. Es besteht jedoch auch ein großes Potenzial zur Optimierung interner Geschäftsprozesse.

Daher beschäftigt sich das aktuelle Forschungsprojekt Smart-DLWD<sup>1</sup> mit der Nutzung von KI-basierten Chatbots zur Unterstützung von Fachpersonal im Abfallmanagement. Das Ziel besteht darin, Mitarbeiter\*innen einen schnellen Zugriff auf Prozessinformationen, Ansprechpartner\*innen sowie interne Dokumente zu ermöglichen. Der Chatbot fungiert hierbei als zentrale Wissensmanagement-Plattform, die zuvor dezentral gespeicherte Informationen bündelt und strukturiert bereitstellt. Besonders vorteilhaft ist die benutzerfreundliche Nutzung durch natürliche Spracheingaben, sodass Mitarbeiter\*innen ohne Nutzung spezifischer Schlagworte Antworten erhalten. Die Plattform ermöglicht es, häufige Fragen zu beantworten, Dokumentensuchen zu beschleunigen und Einarbeitungsprozesse effizienter zu gestalten.

Dieser Ansatz lässt sich auf die industrielle Instandhaltung übertragen. In vielen Fällen sind Wartungsprotokolle, technische Anleitungen sowie Prozessdokumentationen in verschiedenen Systemen gespeichert und nur mit erheblichem Aufwand abrufbar. Ein KI-basierter Chatbot kann hier als effektives Werkzeug dienen, um relevante Informationen gebündelt bereitzustellen und dadurch Entscheidungsprozesse zu beschleunigen. Dies kann zu einer signifikanten Zeitersparnis führen, was insbesondere bei der Entscheidungsfindung in Condition Based Maintenance (CBM)-basierten Instandhaltungsstrategien entscheidend sein kann, um Ausfallzeiten zu reduzieren.

---

<sup>1</sup>Smart-DLWD ist ein durch die Europäische Union und das Land Nordrhein-Westfalen im Rahmen des EFRE/JTF-Programms NRW 2021-2027 gefördertes und vom Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML) betreutes Forschungsprojekt mit dem Förderkennzeichen EFRE-20800504.

## Literaturverzeichnis

- [1] Sakib, N. & Wuest, T. (2018). Challenges and Opportunities of Condition-based Predictive Maintenance: A Review. *Procedia CIRP*, 78, 267–272.
- [2] Ingemarsdotter, E., Kambanou, M. L., Jamsin, E., Sakao, T. & Balkenende, R. (2021). Challenges and solutions in condition-based maintenance implementation - A multiple case study. *Journal of Cleaner Production*, 296, 126420.
- [3] Ohalete, N. C., Aderibigbe, A. O., Ani, E. C., Ohenhen, P. E. & Akinoso, A. (2023). Advancements in predictive maintenance in the oil and gas industry: A review of AI and data science applications. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 20(3), 167–181.
- [4] Kumar, U. & Galar, D. (2018). Maintenance in the Era of Industry 4.0: Issues and Challenges. In P. K. Kapur, U. Kumar & A. K. Verma (Hrsg.), *Springer Proceedings in Business and Economics. Quality, IT and Business Operations* (S. 231–250). Springer Singapore.
- [5] European Commission, 2017. Services of general interest. [https://commission.europa.eu/topics/single-market/services-general-interest\\_en](https://commission.europa.eu/topics/single-market/services-general-interest_en). zuletzt geprüft am 05.März 2025.
- [6] Świątek, D., Komornicki, T. & Piotr, S. (2013). Services of General Interest: empirical evidence from case studies of SeGI project. *Europa XXI*, 23, 105–129.
- [7] Simons, M., Goossensen, A. & Nies, H. (2022). Interventions fostering interdisciplinary and inter-organizational collaboration in health and social care; an integrative literature review. *Journal of Interprofessional Education & Practice*, 28, 100515.
- [8] Chen, F., & Zhou, J. (2019). AI in the public interest. Closer to the machine: technical, social, and legal aspects of AI.
- [9] Jahn, N. & Siebert, M. (2022). Engineering the Neural Automatic Passenger Counter. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 114, 105148.
- [10] Andrianandrianina Johanesa, T. V., Equeter, L. & Mahmoudi, S. A. (2024). Survey on AI Applications for Product Quality Control and Predictive Maintenance in Industry 4.0. *Electronics*, 13(5), 976.
- [11] Mleczko, K. (2021). Chatbot as a Tool for Knowledge Sharing in the Maintenance and Repair Processes. *Multidisciplinary Aspects of Production Engineering*, 4(1), 499–508.
- [12] Azevedo, N., Aquino, G., Nascimento, L., Camelo, L., Figueira, T., Oliveira, J., Figueiredo, I., Printes, A., Torné, I. & Figueiredo, C. (2023). A Novel

- Methodology for Developing Troubleshooting Chatbots Applied to ATM Technical Maintenance Support. *Applied Sciences*, 13(11), 6777.
- [13] Androutsopoulou, A., Karacapilidis, N., Loukis, E. & Charalabidis, Y. (2019). Transforming the communication between citizens and government through AI-guided chatbots. *Government Information Quarterly*, 36(2), 358–367.
- [14] Senadheera, S., Yigitcanlar, T., Desouza, K. C., Mossberger, K., Corchado, J., Mehmood, R., Li, R. Y. M. & Cheong, P. H. (2024). Understanding Chatbot Adoption in Local Governments: A Review and Framework. *Journal of Urban Technology*, 1–35.

## **Nachhaltige Methode der Reinigung verschmutzter Oberflächen mit flüssigen Reinigungsmitteln in der Industrie – Erfahrungen**

Dipl.-Ing. Hans-Jürgen Kastner

Berater Umwelt-Technik-Marketing (UTM)

In Betrieben der Industrie und Gewerbe liegen oft große Freiflächen, Apparate und Rohrleitungen vor, deren Oberflächen oder Innenflächen zur Verschmutzung neigen. Abgesehen von Maßnahmen, Verschmutzungen zu vermeiden, besteht in vielen Fällen früher oder später eine Veranlassung zur Reinigung.

Was man unter den Begriffen „Verschmutzung“ oder „Schmutz“ im industriellen Umfeld anzusehen hat, ist nicht greifbar definiert. Allgemein versteht man unter „Schmutz“ eine Verunreinigung eines Gegenstandes, einer Fläche, Person oder anderer Dinge. Im unternehmerischen Umfeld sind Schmutz, also Verschmutzungen dann bedeutsam, wenn sich aus dem Vorliegen eine Störung der Produktion ergibt oder wenn sich betriebswirtschaftliche oder andere Nachteile, wie zum Beispiel Unfallgefahren oder Auswirkungen auf die Gesundheit oder das Wohlbefinden, ergeben.

Schmutz haftet auf Oberflächen durch verschiedene Mechanismen, die von elektrostatischen Kräften, Adhäsion, mechanischer Verankerung bis hin zu chemischen Oberflächenveränderungen reichen.

In einigen Fällen wird der Schmutz in vielfältiger Art und Weise an die jeweilige Oberfläche gebunden. Das bedeutet, dass keiner der genannten Schmutzbindungsmechanismen allein vorliegt.

Die Beseitigung von Schmutz und Verschmutzungen ist Arbeitsgegenstand der Industriereinigung. Die industriell eingesetzten Reinigungsmethoden für große Flächen sind Gegenstand von Arbeitsgruppen im Deutschen Industrie-Reinigungs-Verband e.V. (DIRV) <https://dirv.org/>. Einzelne Arbeitsgruppen im DIRV befassen sich

speziell mit Wasserhochdruckanwendungen und dem Einsatz von Reinigungsflüssigkeiten.

In Abhängigkeit von der Art und Qualität der Bindung des Schmutzes an der tragenden Oberfläche werden vielfältige Reinigungsflüssigkeiten zur Beseitigung eingesetzt.

Diese Flüssigkeiten sollen den Richtlinien der UN entsprechen. Es sollen keine sauren oder alkalischen Reinigungsmittel oder solche eingesetzt werden, die wesentlich organische Lösungsmittel enthalten oder daraus bestehen.

Nicht jede der bisher angebotenen und eingesetzten Flüssigkeiten entspricht dieser Orientierung. Unabhängig vom Charakter des zu beseitigenden Schmutzes sind diese Flüssigkeiten nicht als Umweltschonend oder als nachhaltig zu bezeichnen.

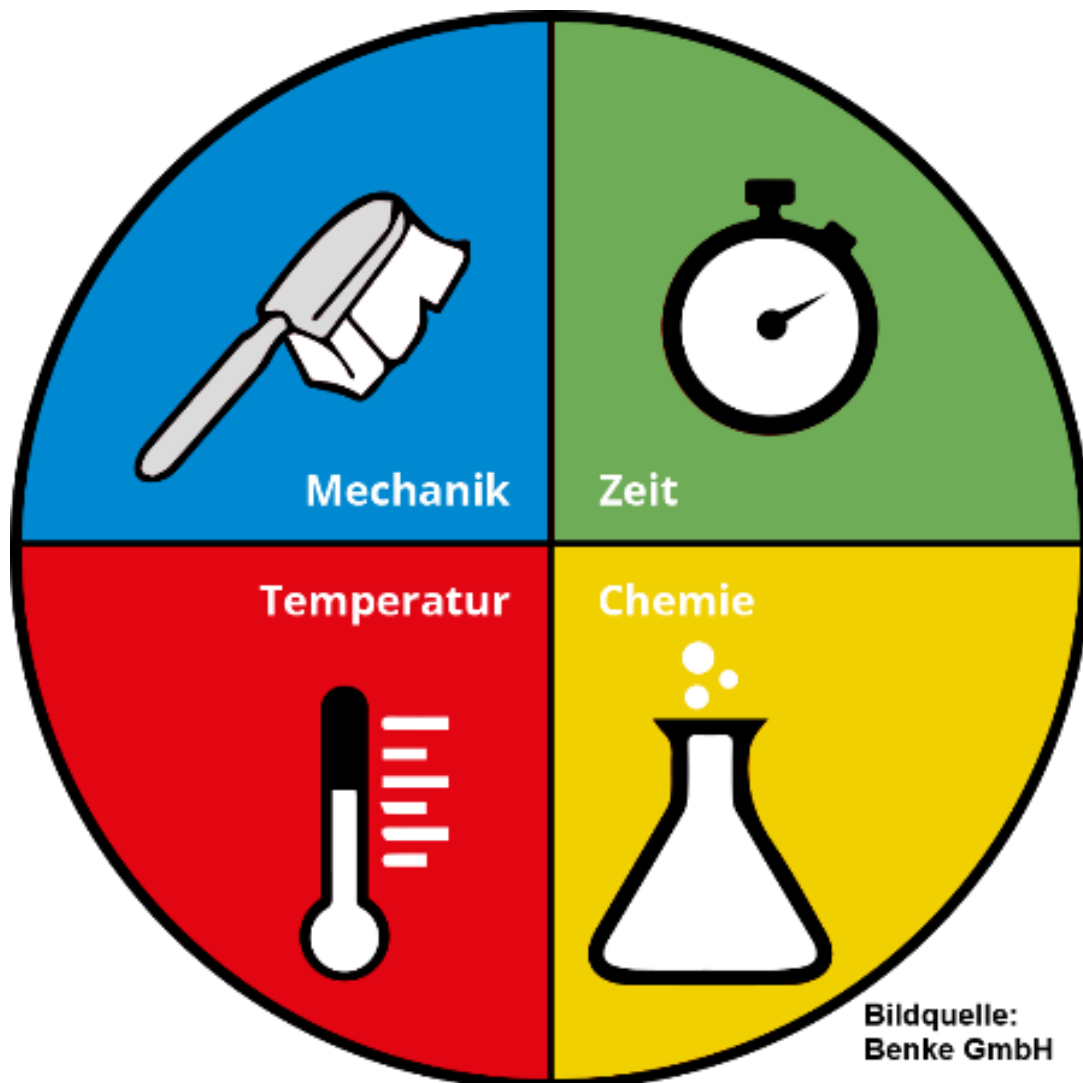
Üblicherweise wird der Schmutz durch die verwendeten Mittel aufgelöst. Dadurch verlieren die entstehenden Schmutzpartikel die Bindung zur tragenden Oberfläche und der Schmutz kann entfernt werden.

Eine weitere Möglichkeit, Schmutz zu beseitigen, sind Flüssigkeiten, die den Schmutz unterkriechen. Dadurch verliert der Schmutz die Bindung zur tragenden Oberfläche und der Schmutz kann beseitigt werden.

### **1. Die Wirkungsfaktoren bei der Auflösung des Schmutzes mit üblichen Reinigungsflüssigkeiten - Der Sinnersche Kreis**

Die unterstützenden Möglichkeiten, Schmutz aufzulösen, wurden von einem Chemiker in einem Modell beschrieben, der nach seinem Namen als „Sinnerscher Kreis“ bezeichnet wird.

In diesem Modell werden die Temperatur der Reinigungsflüssigkeit, die Kraft ihrer Wirkung auf den Schmutz die Dauer der Einwirkung des Reinigungsmittels und die Art der Reinigungsflüssigkeit als Wirkungsfaktoren beschrieben. Durch eine variable Nutzung der einzelnen vier Faktoren kann die Auflösung des Schmutzes und damit auch die Reinigungsleistung beeinflusst werden.



**Abbildung 8:** [Benke GmbH]

Eine Reinigungsmethode, bei der die Reinigungsleistung von Wasser durch die Kraft der Einwirkung erheblich gesteigert wird, ist als Impulsspülverfahren bekannt (<https://comprex.de/>). Durch die kurzzeitige impulsartige Zuführung von Druckluft in das strömende Wasser in einer Rohrleitung oder in anderen Anlagen entstehen zwischen dem Wasser und den Innenoberflächen der zu reinigenden Teile große Scherkräfte, die wirkungsvoll den Schmutz von den tragenden Oberflächen entfernen. Der Schmutz wird von dem Wasser mitgerissen und ausgetragen.

Bei einer intensiv auf den Schmutz wirkenden Reinigungsflüssigkeit kann auf die verstärkende Wirkung einer erhöhten Temperatur verzichtet werden, und die Einwirkzeit kann in diesem Fall kurz sein. Wenn der Einsatz einer mildereren

Reinigungsflüssigkeit beabsichtigt oder notwendig ist, kann durch Verlängerung der Zeit des Einwirkens die notwendige technische Sauberkeit dennoch erreicht werden.

## **2. Die Arten der auflösenden Reinigungsflüssigkeiten**

Bei der Betrachtung der reinigungswirksamen Faktoren im „Sinerschen Kreis“ ist wesentlich, dass die Faktoren, mit welcher Temperatur, mit welcher Kraft und in welcher Dauer die Reinigungsflüssigkeit auf den Schmutz wirkt, unterstützenden Charakter haben.

Neben den im „Sinerschen Kreis“ aufgeführten Faktoren, die die Wirkung von Reinigungsflüssigkeiten steigern, stellt der Einsatz von Tensiden in Reinigungsflüssigkeiten eine weitere Möglichkeit zur Steigerung deren Reinigungsleistung von Reinigungsflüssigkeiten dar.

Die reinigende Wirkung geht dabei jedoch vom jeweils reinigungswirksamen Bestandteil der Reinigungsflüssigkeit aus. Das sind Säuren, Laugen oder organische Lösungsmittel. Diese Bestandteile lösen den Schmutz in kleine Partikel auf, die eine geringere Bindungs-kraft gegenüber der tragenden Oberfläche aufweisen. Die Wirkung der zum Einsatz vorgesehenen Reinigungsflüssigkeit muss darauf ausgerichtet sein, den konkret vorliegenden Bindungsmechanismus zwischen Schmutz und tragender Oberfläche aufzuheben.

Die Wirkungen der Reinigungsflüssigkeiten können physikalischer oder chemischer Art sein oder in ausgewählten Fällen sowohl physikalischer als auch chemischer Art. Gelegentlich werden biologisch wirkende Reinigungsflüssigkeiten erfolgreich eingesetzt. Dabei wird der Schmutz durch Mikroorganismen zersetzt und infolgedessen von der tragenden Oberfläche ablösbar.

Bei der Auswahl physikalisch wirkender Reinigungsflüssigkeiten spielt die Polarität des vorliegenden Schmutzes und die der zum Einsatz vorgesehenen Reinigungsflüssigkeit eine Rolle [1].

Beim Einsatz chemisch wirkender Reinigungsflüssigkeiten spielt neben der jeweiligen chemischen Reaktion und der Temperatur die Konzentration eine wichtige Rolle. Es

wird auf den Zusammenhang zwischen hoher Konzentration und Reaktionsgeschwindigkeit hingewiesen. Eine Absenkung der Konzentration chemisch wirksamer Bestandteile und die Auswahl einer geeigneten Temperatur ermöglichen eine Einflussnahme auf den Reinigungsverlauf und die Reinigungsqualität.

Die politisch und fachlich getroffenen Festlegungen haben zur Entwicklung nachhaltiger umweltgerecht einsetzbarer, anpassungsfähiger, leistungsfähiger Reinigungsangebote geführt.

Als Beispiel wird ein auf der Grundlage des Rückgriffs auf fermentierter Molke, Fruchtsäuren, Wasser und Tensiden entstandenes vielseitig einsetzbares Reinigungsangebot unter Bezeichnung Bio Gen Active hingewiesen [11]. Ein Angebot auf dieser Basis, das in der Erdgas- und Erdölindustrie zur Reinigung sehr erfolgreich eingesetzt wird, ist nach OSPAR [10] als „Gelb“ klassifiziert. Das bedeutet niedrigstes Umweltrisiko.

Auch wenn solche Reinigungsflüssigkeiten eingesetzt werden, welche die Umwelt nicht oder nur gering gefährden, sind diese Flüssigkeiten auflösend, das heißt der Schmutz wird in kleine Partikel aufgelöst, die sich besser entfernen lassen.

Der Aufwand einer solchen Schmutzentfernung kann im einzelnen Fallerheblich sein. Hier wird auf eine Übersicht über Inhaltsstoffe von Reinigungsmitteln verzichtet; stattdessen verweisen wir auf eine ausführliche Übersicht [2].

### **3. Die Ablösung von Schmutz – eine Alternative zur auflösenden Schmutzbeseitigung**

Aktuell gibt es bei der Industriereinigung und dem Einsatz von Reinigungsflüssigkeiten positive Entwicklungen hinsichtlich eines nachhaltigen Einsatzes, der Gewährleistung eines umweltschonenden Vorgehens sowie einer konsequenteren Hinwendung zum Schutz von Leben und Gesundheit der Ausführenden, insbesondere in den führenden Industrieländern.

Die Grundlage für diese positive Entwicklung bildet die auf der Generalversammlung der Vereinten Nationen im September 2015 beschlossene Agenda 2030 mit global gültigen 17 Zielen für nachhaltige Entwicklung [5].



Developed in collaboration with TROLLBÄCK + COMPANY | TheGlobalGoalNetwork.com | +1-212-239-2010  
For queries on usage, contact: dpcampaign@rollung | Non-official translation made by UNRIC Brussels (September 2015)

**Abbildung 9:**

Bereits seit längerer Zeit liegen für den Einsatz von Reinigungsflüssigkeiten formulierte Grundsätze [6] vor. Sie finden sich in den Papieren der EU zum Beispiel in der für alle Reinigungsprodukte maßgeblichen europäischen Verordnung (EG) Nr. 648/2004 über Detergenzien (DetergV) [7] und in der europäischen Lösemittelverordnung (1999/13/EG) [8]. (Es sind die möglichen Aktualisierungen dieser Dokumente zu beachten).

Die europäischen Vorgaben werden in nationalen Dokumenten umgesetzt, wie beispielsweise im Wasch- und Reinigungsmittelgesetz (WRMG) [9]. In vielen Dokumenten der fachlich zuständigen Organisationen gibt es spezifische Festlegungen zur nachhaltigen und umweltgerechten Gestaltung des Einsatzes von Reinigungsmitteln. Beispielhaft wird international auf OSPAR [10] und national auf den Standard VDA 19 [3] hingewiesen.

Die International Association for Soaps, Detergents and Maintenance Products (A.I.S.E.) <https://www.aise.eu/>, die Internationale Vereinigung für Seifen, Reinigungsmittel und Wartungsprodukte, ist seit 70 Jahren der offizielle Vertreter dieser Branche in Europa.

In Deutschland sind im Industrieverband Hygiene und Oberflächenschutz für industrielle und institutionelle Anwendung e.V. (IHO) <https://www.iho.de/> die Hersteller von Reinigungs-, Wasch- und Desinfektionsmitteln für den professionellen und industriellen Einsatz organisiert.

Die politisch und fachlich getroffenen Festlegungen haben zu einer von der UN anerkannten Entwicklung geführt. Diese Flüssigkeiten sind nachhaltig und umweltgerecht einsetzbar.

Unter der Bezeichnung „intelligent fluid“ wurde die Reinigungsfähigkeit von Wasser verändert und bedeutend gesteigert [12]. Mit einer Variante dieses Produkts auf Wasser-Basis kann sogar Lack von Oberflächen abgelöst werden. Beim Einsatz dieser Flüssigkeiten wird der Schmutz nicht wie üblich aufgelöst, sondern der Schmutz wird von der tragenden Oberfläche abgehoben, indem sich die Flüssigkeit zwischen Schmutz und Oberfläche schiebt.

Dadurch kann der Schmutz im Wesentlichen ohne die Wirkungen des „Sinnerschen Kreises“ entfernt werden.

Diese wässrigen Mittel sind geeignet, eine anforderungsgerechte technische Sauberkeit mit Öl, Farbe sowie Lack oder mit anderen in der Industrie vorkommenden Flächen, herzustellen.

Erfolgreiche Einsätze können beispielsweise in der elektronischen Industrie [13], bei der Reinigung von Wärmeübertragern [14] und vielen anderen Anwendungen belegbar nachgewiesen.

Die Beispiele zeigen, dass sich die Ansprüche aus den zunächst politisch formulierten Forderungen auch bei steigenden Umsätzen [15] nachhaltig und umweltschonend realisieren lassen.

## Literaturverzeichnis

- [1] Wikipedia Polarität (Chemie), [https://de.wikipedia.org/wiki/Polarität\\_\(Chemie\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Polarität_(Chemie)), zuletzt geprüft am 11.03.2024.
- [2] Umweltbundesamt Inhaltsstoffe Wasch- und Reinigungsmittel <https://www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/wasch-reinigungsmittel/inhaltsstoffe>, zuletzt geprüft am 11.03.2024.
- [3] Wikipedia Technische Sauberkeit [https://de.wikipedia.org/wiki/Technische\\_Sauberkeit](https://de.wikipedia.org/wiki/Technische_Sauberkeit), zuletzt geprüft am 11.03.2024.
- [4] VDI 4663 „Bewertung von Energie- und Stoffeffizienz – Methodische Anwendung des Physikalischen Optimums“
- [5] Deutsche Bundesregierung - Richtschnur der Politik - Die 17 globalen Nachhaltigkeitsziele verständlich erklärt <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/nachhaltigkeitsziele-erklaert-232174>, zuletzt geprüft am 11.03.2024.
- [6] D.I. Wilson, 2005, Challenges in cleaning: recent developments and future prospects, Heat Transfer Eng., Vol. 26(1), pp. 51-59 <https://dc.engconfintl.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1020&context=heatexchanger>
- [7] VERORDNUNG (EG) Nr. 648/2004 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 31. März 2004 über Detergenzien <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004R0648>
- [8] RICHTLINIE 1999/13/EG DES RATES vom 11. März 1999 über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A31999L0013>
- [9] Gesetz über die Umweltverträglichkeit von Wasch- und Reinigungsmitteln <https://www.gesetze-im-internet.de/wrmg/index.html>, zuletzt geprüft am 11.03.2024.
- [10] OSPAR Commission <https://www.ospar.org/organisation>, zuletzt geprüft am 11.03.2024.
- [11] Intelligent Cleaning mit BIO GEN AKTIVE [https://www.ioeb-innovationsplattform.at/fileadmin/user\\_upload/Media\\_Library/Uploads/Innovation/Downloads/ACR-BGA.2020.02.pdf](https://www.ioeb-innovationsplattform.at/fileadmin/user_upload/Media_Library/Uploads/Innovation/Downloads/ACR-BGA.2020.02.pdf), zuletzt geprüft am 11.03.2024
- [12] So reinigt die Zukunft: Innovative Lösungen für Effiziente und Nachhaltige industrielle Reinigung-intelligent fluid <https://intelligent-fluids.com/de/>, zuletzt geprüft am 11.03.2024.
- [13] Broschüre Reinigung Mikroelektronik Intelligent Fluids GmbH <https://intelligent-fluids.com/de/microelectronics/>, zuletzt geprüft am 11.03.2024.
- [14] Material Reinigung von Wärmeübertragern Intelligent Fluids GmbH <https://www.waermetauscherreinigung.com/de>, zuletzt geprüft am 11.03.2024.
- [15] Industrial Cleaning Chemicals Market by Ingredient <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/industrial-institutional-cleaning-chemicals-market-52902227.html>, zuletzt geprüft am 11.03.2024.

---

# Roadmapping-Prozesse in der Instandhaltung

Britta Wortmann, Marina Klees, Thomas Dell

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML

## 1. Einleitung

Roadmapping-Prozesse können für Unternehmen eine wichtige Rolle bei der erfolgreichen Einführung von neuen Technologien, Produkten oder Strategien spielen. Die Roadmapping-Methode wurde bereits vor über 50 Jahren entwickelt, sodass Roadmaps mittlerweile in einer Vielzahl von Ausprägungen und Darstellungsformen existieren [1, 2]. Sie fungieren als strategisches Planungsinstrument, das Unternehmen dabei hilft, ihre Ziele zu definieren und den Weg zur Zielerreichung zu strukturieren und zu visualisieren. Kennzeichnend ist die Erstellung eines „Fahrplans“, der die zur Zielerreichung notwendigen Schritte, Ressourcen und Zeitrahmen darstellt.

In der Instandhaltung beziehen sich Roadmapping-Prozesse auf die strukturierte Planung und Umsetzung von Instandhaltungsaktivitäten. Sie unterstützen Unternehmen bspw. dabei, konkrete Ziele für die Instandhaltung zu definieren, neue Technologien und Systeme zu integrieren, erforderliche Ressourcen wie Personal, Material, Zeitbedarf und Budget effizient zuzuweisen und die Fortschritte regelmäßig zu überprüfen und ggf. anzupassen. Insbesondere bei komplexeren, mittel- und längerfristigen Vorhaben in der Instandhaltung können Roadmapping-Prozesse dazu beitragen, Risiken in Bezug auf ungeplante Stillstände zu minimieren, Betriebsabläufe zu verbessern, Kosten zu senken und die Effizienz und Effektivität der Maschinen und Anlagen zu optimieren.

In diesem Zusammenhang sind viele Unternehmen daran interessiert, ihre Instandhaltungsstrategien weiterzuentwickeln und an die gewachsenen Anforderungen anzupassen. Hier gewinnt Predictive Maintenance (PdM) immer mehr an Bedeutung. Mit PdM als vorausschauende Instandhaltungsstrategie werden zahlreiche Vorteile verbunden, bspw. die Prognose einer sich anbahnenden Störung

und die verbesserte Planbarkeit von erforderlichen Instandhaltungsmaßnahmen, bevor es zu einem Ausfall kommt. Jedoch ist PdM als datengetriebene Instandhaltungsstrategie mit einem nicht zu vernachlässigenden Aufwand in Bezug auf Digitalisierung und Datenmanagement verbunden: Für die Umsetzung ist es erforderlich, eine große Menge an Daten und Informationen aus unterschiedlichen Quellen und in unterschiedlichen Formaten zu erheben, in geeigneten Systemen zusammenzuführen, meist längerfristig zu speichern und im Zuge der Analyse in einen gemeinsamen Kontext zu bringen. [3]

Eine maßgeschneiderte Roadmap für die Einführung von PdM, die diese und weitere Herausforderungen berücksichtigt, kann dazu beitragen, die Vorteile von PdM voll auszuschöpfen und PdM im Unternehmen zu einer nachhaltigen Instandhaltungsstrategie zu entwickeln.

## **2. Ziele einer Roadmap**

Roadmaps sind ein Instrument der Forschungs- und Entwicklungsplanung, die eine Orientierungshilfe für die Strategieentwicklung eines Unternehmens darstellen. Das vorrangige Ziel des Roadmapping besteht in der Bündelung vieler Einzelthemen, dem Identifizieren von Handlungsoptionen und dem Setzen von Prioritäten [2]. Roadmaps können als Analogie zu einer Straßenkarte gesehen werden, die unterschiedliche Routen aufzeigt und die Nutzer schrittweise und strukturiert zum festgesetzten Ziel führt. Sie haben den Zweck, strategische Planungsprozesse in Organisationen zu unterstützen, die Schnittstelle zur operativen Planung herzustellen und unterschiedliche Ebenen sowie Organisationsbereiche transparent zu gestalten und miteinander zu verbinden [4]. Roadmaps sollen zudem die Entwicklung, Kommunikation und Implementierung von bspw. Technologien, Produkten, Dienstleistungen und Geschäftsstrategien erleichtern und fördern [5].

## **3. Aufgaben und Darstellungsformen einer Roadmap**

Roadmaps zeichnen sich durch mehrere zentrale Eigenschaften bzw. Bausteine aus, die sie zu einem besonders nützlichen Planungsinstrument machen (vgl. Abbildung 1):

---

## **Informationssammlung, Visualisierung und Kommunikation**

Beim Roadmapping werden Informationen aus verschiedenen Quellen zusammengeführt, strukturiert dargestellt, aufeinander abgestimmt und schließlich für die strategische Planung nutzbar gemacht. Über der zugrundeliegenden Informationsstruktur befindet sich meist eine grafische Ebene, um die Informationen in eine visuelle Form zu bringen und die Übermittlung und das Verständnis der Informationen zu erleichtern. Dadurch dienen Roadmaps nicht nur der systematischen Informationssammlung, sondern fungieren auch als Visualisierungsinstrumente und Kommunikationsmittel und helfen so bei der schnelleren Erfassbarkeit von Informationen. [4, 6, 7, 8]

## **Entscheidungsvorbereitung**

Eine weitere wichtige Eigenschaft ist die Entscheidungsvorbereitung. Roadmaps zeigen verschiedene Entwicklungspfade in die Zukunft auf. Durch die klare Darstellung der Wirkungszusammenhänge, der zeitlichen Abläufe und basierend auf Machbarkeits- und Wirtschaftsanalysen helfen sie dabei, die geeignetsten Pfade auszuwählen. [6]

## **Planung und Steuerung**

Roadmaps fungieren weiterhin als Planungs- und Steuerungsinstrument. Sie bieten den Nutzern eine optimale Grundlage für die inhaltliche und organisatorische Planung von Projekten, indem Zeitrahmen, Budget- und Personalbedarfe etc. definiert werden. Effektiv gestaltete Roadmaps bieten zudem den Vorteil, dass sie keine starren Pläne sind, sondern sich auf Basis regelmäßiger Aktualisierungen dynamisch an Veränderungen anpassen und damit eine kontinuierliche Ausrichtung auf die aktuellen Rahmenbedingungen gewährleisten. So ermöglichen Roadmaps neben einer präzisen Planung auch eine dynamische Steuerung, wodurch Projekte stets auf aktuelle Entwicklungen ausgerichtet sind. [4, 6, 8]

## **Meilensteine und Controlling**

Meilensteine stellen entscheidende Punkte bzw. Zwischenziele im Roadmapping-Prozess dar. Anhand der innerhalb der Roadmap festgelegten Meilensteine lassen sich Fortschritte überwachen und der Projekterfolg messen, sodass ein Projekt-Controlling sichergestellt wird. Die Meilensteine ermöglichen es, Abweichungen zu

erkennen, Entscheidungen zu treffen und Maßnahmen einzuleiten. Der Ist-Zustand kann dem festgelegten Plan gegenübergestellt werden, sodass sich Zeitverschiebungen, Kostenüberschreitungen und Kapazitätsprobleme schnell aufspüren und Maßnahmen zur Behebung von Abweichungen treffen lassen können. [2, 6, 8]

### Zukunftsvorausschau

Ebenso lässt sich das Roadmapping hervorragend zur Zukunftsvorausschau einsetzen, indem im Stadium der Roadmapgenerierung Expertenmeinungen eingebunden werden. So können mögliche zukünftige Entwicklungen und Szenarien bereits in der Planungsphase berücksichtigt und im Projektverlauf beobachtet und bewertet werden. Eine regelmäßige Anpassung der Roadmap, bspw. in einem festgelegten Turnus, gibt die Sicherheit, dass unternehmensinterne Änderungen, neue Erkenntnisse und Umfeldentwicklungen rechtzeitig einbezogen werden und der jeweils aktuelle Kenntnisstand dokumentiert wird. [6]

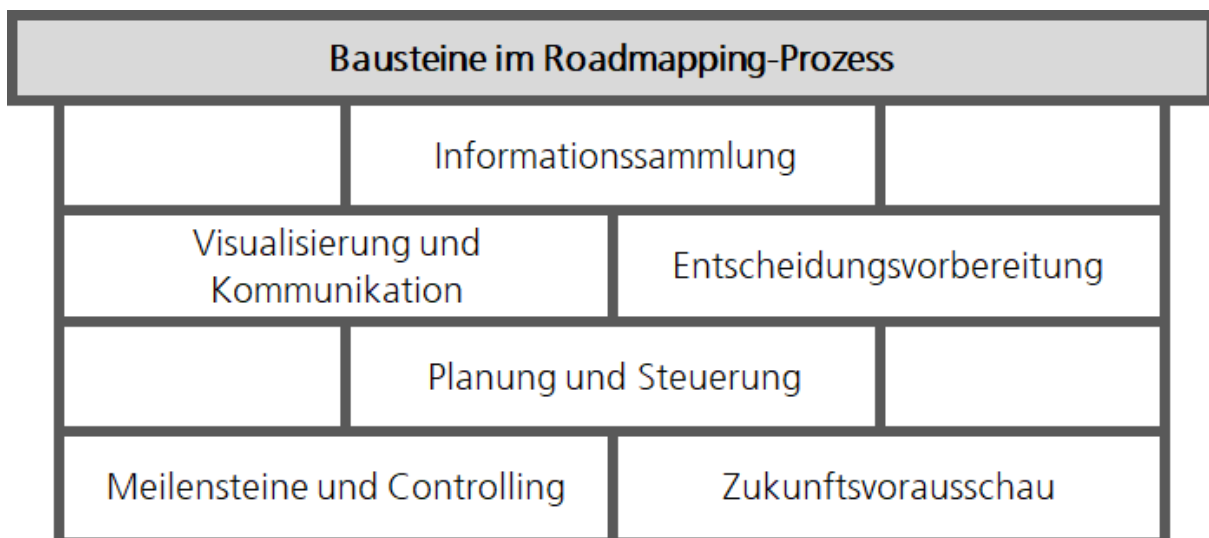


Abbildung 10: Bausteine im Roadmapping-Prozess (in Anlehnung an [2, 6])

Für eine effektive Roadmap ist weiterhin die Auswahl der Informationsstruktur entscheidend. Diese gibt Aufschluss darüber, wie die in der Roadmap enthaltenen Informationen dargestellt werden sollen. Die Roadmap sollte so gestaltet werden, dass sie keine visuellen Hindernisse aufweist, die zentrale Elemente und Botschaften verdecken oder den Nutzer verwirren könnten.

---

Basierend auf einer Analyse von über 400 Darstellungsformen für Roadmaps wurde eine Klassifikation für die zugrunde liegende Informationsstruktur entwickelt, die aus drei Kategorien besteht [7]:

Bei der ersten Kategorie handelt es sich um *temporale Roadmaps*. Der temporale Ansatz fokussiert die zeitliche Entwicklung eines Projekts sowie die Abfolge der einzelnen Aktivitäten. Bei der zweiten Kategorie handelt es sich um *systematische Roadmaps*. Diese zielen darauf ab, ein Verständnis dafür zu schaffen, in welcher Verbindung die einzelnen Elemente einer Roadmap zueinanderstehen, ohne den zeitlichen Aspekt zu berücksichtigen. Bei der dritten Kategorie handelt es sich um *metaphorische Roadmaps*, die bspw. in Form von Straßenkarten, Landschaften und Brettspielen dargestellt werden können. Mithilfe metaphorischer Ansätze sollen komplexe Sachverhalte durch bildhafte Darstellungen verständlicher gemacht und vielschichtige Zusammenhänge auf den Punkt gebracht werden. [7]

#### **4. Roadmap Predictive Maintenance**

Im Rahmen eines Transferprojekts in Zusammenarbeit mit dem Mittelstand-Digital Zentrum Ruhr-OWL und einem Anlagenhersteller aus dem Bereich Sondermaschinenbau wurde ein systematisches Vorgehen zur Einführung von PdM entwickelt und für einen im Projekt fokussierten Teilbereich bereits erprobt. Dazu wurden zunächst existierende Roadmaps zur Einführung von PdM und verschiedene Darstellungsformen zusammen mit dem Projektpartner hinsichtlich der Eignung in der Praxis bewertet. Anschließend wurden die erforderlichen Schritte für das fokussierte Teilprojekt systematisch erarbeitet und in einer maßgeschneiderten, unternehmensspezifischen Roadmap verankert. Alle weiteren Schritte wurden in gemeinsamen Workshops definiert und in eine generische metaphorische Struktur einer Roadmap (vgl. Abbildung 2) überführt, sodass diese von unterschiedlichen Unternehmen genutzt werden kann.



**Abbildung 11:** Generische metaphorische Roadmap Predictive Maintenance

Die Roadmap Predictive Maintenance ist in sieben Module unterteilt. Jedes dieser Module ist mit einem Ziel verknüpft sowie mit einer Beschreibung der Maßnahmen, die erforderlich sind, um das Ziel zu erreichen. Die Module werden i.d.R. nacheinander bearbeitet, da der Fortschritt oftmals von der erfolgreichen Umsetzung vorheriger Module abhängt. Die Bearbeitungsreihenfolge der Module kann aber auch je nach zugrunde liegendem Anwendungsfall variieren: so kann es bspw. einen Unterschied machen, ob die PdM-Strategie in der eigenen Produktion umgesetzt oder als Dienstleistung für Kunden angeboten wird. Eine streng sequenzielle Abarbeitung der Module ist daher nicht notwendig. Ebenfalls ist es möglich, zu einem vorherigen Modul zurückzukehren, falls neue Erkenntnisse gewonnen wurden.

## Zusammenfassung und Ausblick

Roadmaps fungieren als strukturierte Leitfäden, um komplexe Prozesse zu planen, zu visualisieren und die darin enthaltenen Schritte bis zum Erreichen des Ziels nachzuvollziehen bzw. zu verfolgen.

Die Roadmap Predictive Maintenance gibt Unternehmen einen Fahrplan für die Einführung einer vorausschauenden Instandhaltungsstrategie an die Hand. Das Vorgehen ist modular aufgebaut und kann – je nach zugrunde liegendem Anwendungsfall – individuell gestaltet werden. Die Roadmap ist so aufgebaut, dass Optimierungen in der Instandhaltung bereits vor dem Endziel, der Einführung von PdM

bei einer Anlage oder Maschine, sichtbar sind. Auch können neue Technologien und Konzepte bei der individuellen Ausgestaltung berücksichtigt werden.

In Anbetracht der fortschreitenden technologischen Innovationen und der wachsenden Bedeutung von agilen Ansätzen sind Roadmapping-Prozesse zunehmend sinnvolle Werkzeuge für die erfolgreiche Umsetzung von Projekten in Unternehmen.

---

## Literaturverzeichnis

- [1] T. U. Daim, R. Phaal, D. Meissner, C. Kerr: Next Generation Roadmapping: Establishing Technology and Innovation Pathways Towards Sustainable Value. Springer International Publishing, Imprint Springer, 2023.
- [2] S. Behrendt: Integriertes Roadmapping: Nachhaltigkeitsorientierung in Innovationsprozessen des Pervasive Computing. Berlin, Springer, 2010.
- [3] F. Förster: PlatonaM – Plattform-Ökosystem für innovatives Instandhaltungsmanagement durch Predictive Maintenance. Schlussbericht für das Teilvorhaben: Prädiktives Instandhaltungsmanagement. Dortmund, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML.
- [4] S. Schimpf, R. Phaal, O. L. de Weck, T. Abele: Praxisstudie Roadmapping Update 2023. Stuttgart, Fraunhofer-Verbund Innovationsforschung, 2023.
- [5] Schaller et al. (2018), S. 2 f.
- [6] D. Specht, S. Behrens, M. Richter: Strategische Planung mit Roadmaps – Möglichkeiten für das Innovationsmanagement, die Personalbedarfs- und die Fabrikplanung. In: M. G. Möhrle, R. Isenmann (Hrsg.): Technologie-Roadmapping. Berlin, Springer Vieweg, 2017.
- [7] I. Miles: Practice on Roadmapping. Technology Centre of the Academy of Sciences CR, Prag, 2009.
- [8] C. Kerr, R. Phaal: Roadmapping and Roadmaps: Definition and Underpinning Concepts. In: IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 69, No. 1, 2022.