

Praxiswissen Instandhaltung



Lean – Digital – Integrativ – Nachhaltig – Wertschöpfend
37. Instandhaltungsforum

TÜV Media

Instandhaltung im dynamischen Umfeld

H. Biedermann (Hrsg.)



Instandhaltung im dynamischen Umfeld

- Leseprobe -

Praxiswissen für Ingenieure – Instandhaltung

Herausgegeben von Hubert Biedermann, em.o.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont.,
Präsident der ÖVIA, Montanuniversität Leoben, Leoben, Österreich



Dieser Titel wurde von der
ÖVIA (Österreichische technisch-wissenschaftliche
Vereinigung für Instandhaltung & Anlagenwirtschaft) erstellt.

- Leseprobe -

Praxiswissen Instandhaltung

**Lean – Digital – Integrativ – Nachhaltig – Wertschöpfend
37. Instandhaltungsforum**

TÜV Media

Instandhaltung im dynamischen Umfeld

H. Biedermann (Hrsg.)

Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie. Detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier.

ISBN 978-3-7406-0867-5 (Print)

ISBN 978-3-7406-0868-2 (E-Book)

© by TÜV Media GmbH, TÜV Rheinland Group, Köln 2023

® TÜV, TUEV und TUV sind eingetragene Marken der TÜV Rheinland Group.
Eine Nutzung und Verwendung bedarf der vorherigen Zustimmung durch das Unternehmen.

Gesamtherstellung: TÜV Media GmbH, Köln 2023

Printed in Germany

Inhaltsverzeichnis

Autorenverzeichnis	7
KI in der Instandhaltung – Stand und Ausblick Hubert Biedermann	11
Asset-Management - Dynamisches Asset-Management von Stranggießkokillen in einem Stahlwerk - von 1966 bis heute Markus Molls, Frank Stopa, Patrick Butzen, Sebastian Schneider	23
Qualitätssicherung im Asset Management Philipp Kraker	43
Präskriptive Instandhaltung in der industriellen Produktion - Von der Strategie zu Möglichkeiten der Umsetzung in der Instandhaltungsplanung Michael Wocker, Mohamed Selim Gssim, Jan Büscher, Jörn Schwenken, Jochen Deuse	63
Ersatzteilmanagement in der Anlagentechnik der voestalpine Steel Division - Bestandsoptimierung bei gleichzeitiger Prozessstandardisierung als Grundlage eines verbesserten Kundenservice Daniel Buchegger, Reinhard Mühlbacher, Peter Doppler	79
Digitale Schieneninfrastrukturinstandhaltung - nachhaltig, agil, wertschöpfend Theresa Passath, Ivan Vidovic	91
Austausch des Löschturms 2 der Kokerei Schwelgern - Instandhaltungsstrategie für die beiden Löschtürme und Austausch des südlichen Löschturms im laufenden Betrieb Michael Cremer	109
Chatbots in der Instandhaltung - Industrielle Perspektiven für den Einsatz von generativer Künstlicher Intelligenz Linus Kohl, Fazel Ansari	131
Synergie in Aktion - Die Macht von Retrofit und IIoT in der Produktions- und Instandhaltungsoptimierung Hans Thomas Maier, Jahn Berger, Michael H. Eder, Martin Hackhofer	147

Process Mining in der Instandhaltung - Datenbasierter Ansatz zur Prozessanalyse und Steigerung der Produktivität in den Instandhaltungsprozessen	161
Ruben Merlin Mörth, Katharina Mertens-Schell, Michael Huemer, Bernhard Jurin	
Wie halten Sie Ihre Instandhalterinnen und Instandhalter instand? Nutzung eines kulturellen Reifegradmodells zur Entwicklung „gesunder“ Teamkultur für erfolgreiche Instandhaltung in unsicheren Zeiten	181
Tobias Gerstmaier	
Marketing in Maintenance - Steigerung des innerbetrieblichen Stellenwerts von Maintenance durch Anwendung von Marketingmaßnahmen	199
Bernd Zenk	
Kollaborative industrielle Services in einem sicheren Netzwerk unter Aspekten der Datenhoheit und -souveränität	211
Michael Wolny, David Kiklhorn, Daniel Hefft	
KI-basierte Heizungssteuerung - Implementierung einer KI basierten Heizungssteuerung als Wertschöpfungsbeitrag im operativen Anlagenbetrieb	223
Roman Pöltner, Mario Kübeck, Manuel Oswald	

Autorenverzeichnis

Fazel Ansari

Priv.-Doz. Dr., Leiter der Forschungsgruppe Produktions- und Instandhaltungsmanagement
Technische Universität Wien, Institut für Managementwissenschaften
Fraunhofer Austria Research GmbH
Wien, Österreich

Jahn Berger

MSc, IIoT & Automation Expert
voestalpine High Performance Metals DIGITAL SOLUTIONS GmbH
Kapfenberg, Österreich

Hubert Biedermann

em.Univ.-Prof. Dr. mont., Präsident der ÖVIA
Österreichische Vereinigung für Instandhaltung und Anlagenwirtschaft
Leoben, Österreich

Daniel Buchegger

Ing., BSc, Fachingenieur Klimatechnik
voestalpine Stahl GmbH
Linz, Österreich

Jan Niklas Büscher

MSc, Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Institut für Produktionssysteme, TU Dortmund
Dortmund, Deutschland

Patrick Butzen

Dipl.-Ing., Teamleiter Kernprodukte
Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH
Duisburg, Deutschland

Michael Cremer

Dipl.-Ing., Leiter Erhaltungsbetrieb Mechanik
thyssenkrupp Steel Europe AG
Duisburg, Deutschland

Jochen Deuse

Prof. Dr. Ing., Institutsleiter/*Director*
Institut für Produktionssysteme, TU Dortmund/*Centre for Advanced Manufacturing,*
University of Technology Sydney
Dortmund, Deutschland/*Sydney, Australien*

Peter Doppler

Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH), Programmkoordination Lean-Smart-Maintenance
voestalpine Stahl GmbH
Linz, Österreich

Michael Eder

Dr., Managing Director
voestalpine High Performance Metals DIGITAL SOLUTIONS GmbH
Kapfenberg, Österreich

Tobias Gerstmaier

Dipl.-Ing. (FH), Lean & Cultural Transformation Coach bei der INNIO Jenbacher GmbH &
CO OG und selbstständiger Coach und Trainer
Trainer Tobias (Tobias Gerstmaier e.U.)
Innsbruck, Österreich

Mohamed Selim Gssim

MSc, Student
BMW Group
München, Deutschland

Martin Hackhofer

Dipl.-Ing., MSc, Head of IIoT&Automation
voestalpine High Performance Metals DIGITAL SOLUTIONS GmbH
Kapfenberg, Österreich

Daniel Hefft

MSc, Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik
Dortmund, Deutschland

Michael Huemer

Dr., Partner
BDO Austria GmbH
Wien, Österreich

Bernhard Jurin

Ing., Service Manager Asset Service
Wien Energie GmbH
Wien, Österreich

David Kiklhorn

MSc, Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik
Dortmund, Deutschland

Linus Kohl

Dipl.-Ing., Gruppenleiter Produktionsoptimierung und Instandhaltungsmanagement
Technische Universität Wien, Institut für Managementwissenschaften
Fraunhofer Austria Research GmbH
Wien, Österreich

Philipp Thomas Kraker

Dipl.-Ing., BSc, Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften, Montanuniversität Leoben
Leoben, Österreich

Mario Kübeck

Ing., Senior Manager General Maintenance
MAGNA STEYR FAHRZEUGTECHNIK GmbH & Co KG
Graz, Österreich

Hans Thomas Maier

Dipl.-Ing., BSc, Global Product and Services Manager
voestalpine High Performance Metals DIGITAL SOLUTIONS GmbH
Kapfenberg, Österreich

Katharina Mertens-Schell

Dipl.-Ing., BSc, Managerin im Bereich Business Analytics & Operational Excellence
BDO Austria GmbH
Wien, Österreich

Markus Molls

Dr. Ing., Teamleitung Instandhaltung Stranggießen
Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH
Duisburg, Deutschland

Ruben Mörth

MSc, Process Mining Lead
Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften
Wien Energie GmbH
Wien, Österreich

Reinhard Mühlbacher

Dipl.-Ing. (FH), MLBT-JKU, Prozessverantwortlicher Investitionsplanung
voestalpine Stahl GmbH
Linz, Österreich

Manuel Oswald

MAGNA STEYR FAHRZEUGTECHNIK GmbH & Co KG
Systemadministrator Gebäudeleittechnik
Graz, Österreich

Theresa Passath

Dr. mont., Dipl.-Ing., Head of Business Development & Sales
voestalpine Digital Track Management GmbH
Graz, Österreich

Roman Pöltner

Dipl.-Ing., Director Infrastructure Management and Group HSE
Managing Director under Trade Law
MAGNA STEYR FAHRZEUGTECHNIK GmbH & Co KG
Graz, Österreich

Sebastian Schneider

MSc, Fachgebietsleiter mechanische Instandhaltung
Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH
Duisburg, Deutschland

Jörn Schwenken

MSc, Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Institut für Produktionssysteme, TU Dortmund
Dortmund, Deutschland

Frank Stopa

Dr. Ing., Leitung Fertigung Anlagenkomponenten
Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH
Duisburg, Deutschland

Ivan Vidović

Dr., Dipl.-Ing., Head of Product Management
voestalpine Digital Track Management GmbH
Graz, Österreich

Siegfried Vössner

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn., Institutsvorstand
Technische Universität Graz, Institut für Maschinenbau- und Betriebsinformatik
Graz, Österreich

Marco Wagenstetter

MSc, Doktorand: Modulare, optische Qualitätskontrolle
BMW Group
München, Deutschland

Michael Wocker

MSc, Spezialist Ablaufsimulation
BMW Group
München, Deutschland

Michael Wolny

MSc, stellv. Abteilungsleiter
Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik
Dortmund, Deutschland

Bernd Zenk

Senior Specialist und Teamkoordinator Global Maintenance
Schaeffler Technologies AG & Co. KG
Herzogenaurach, Deutschland

- Leseprobe -

KI in der Instandhaltung – Stand und Ausblick

Hubert Biedermann

Die zunehmende Verfügbarkeit von Daten und deren horizontale und vertikale Integration durch Verknüpfung von unterschiedlichen Systemen bietet der Instandhaltung die Chance einfache bis komplexe datenanalytische Verfahren (Künstliche Intelligenz) anzuwenden, um einen höheren Reifegrad im strategisch-operativen Management zu erreichen und damit nachhaltig zur Unternehmenswertschöpfung beizutragen. Eingeordnet in der Philosophie „Lean-Smart-Maintenance“ bieten sich zahlreiche Möglichkeiten um sowohl die Effizienz als auch die Effektivität der Instandhaltung zu verbessern, die Lebensdauer der Anlagen zu verlängern, die Ressourceneffizienz zu erhöhen und so wesentliche Entwicklungsschritte im Asset Management zu erreichen. Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über datenanalytische Verfahren der KI im Kontext zum LSM-Konzept und zeigt den Stand und absehbare Entwicklungen auf.

1 Ausgangssituation

Erfolgs- und Differenzierungseigenschaften von produzierenden Unternehmen gegenüber dem Wettbewerb sowie der Kundenstruktur liegen in der Produkt- und Dienstleistungsqualität, den Herstellkosten und damit den möglichen Produktpreisen, der Liefer- und Sortenflexibilität sowie der Termintreue und Zeiteffizienz beispielsweise durch geringere Durchlaufzeiten. Eine laufende Innovation in das Produktsortiment sowie die Herstelltechnologie gepaart mit neuen Geschäftsmodellen im Aftersales-Bereich sind Garanten für den Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit. Beinahe alle der genannten Erfolgspotenziale berühren direkt oder indirekt das im produzierenden Unternehmen eingesetzte Anlagenkapital in Form von Maschinen, maschinellen Anlagen, Werkzeugen und der nötigen Infrastruktur zur Energie- und Medienversorgung. Damit verbunden steigen die Anforderungen an das Assetmanagement und die Instandhaltung sowohl im strategischen als auch im operativen Bereich permanent. Andererseits geben die Digitalisierung und die mit ihr verbundenen Techniken und Instrumente der Instandhaltung die Möglichkeit proaktiv auf diese Anforderungen zu antworten. Insgesamt spielt die Künstliche Intelligenz (KI) vermehrt eine wesentliche Rolle, die bereits zahlreiche Anwendungsbereiche in der Industrie hat. Einer davon ist die Instandhaltung, die sich mit der Instandhaltung und Optimierung von Maschinen und Anlagen befasst. KI kann die Instandhaltung smarter, effizienter und dynamischer machen, indem sie Daten analysiert, Muster erkennt, Vorhersagen trifft und Empfehlungen gibt. Im Folgenden werden auf ein adäquates Managementkonzept der Instandhaltung eingegangen und die Digitalisierungsfelder und damit KI-Anwendungsbereiche beschrieben, die ein adäquates, agiles Asset - Management ermöglichen.

2 Instandhaltung - Instandhaltungsmanagement

Die Instandhaltung hat die Aufgabe durch Kombination von technischen und dispositiven Maßnahmen wie Organisation, Planung, Information, Kontrolle und Personalführung vorwiegend in der Nutzungsphase von Anlagen, die Funktionsfähigkeit – bzw. darüber hinausgehend vermehrt die Funktionserfüllung - derselben sicherzustellen. Hierbei müssen diese technischen Einheiten die an sie gestellten Anforderungen erfüllen können (DIN

31051:2012)¹. In der Regel erfolgt dies durch ein Maßnahmenbündel aus Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Verbesserung (mittels Schwachstellenanalyse). Das life-cycle orientierte Ziel des Anlagenmanagements geht über die Nutzungsphase der Assets hinaus und hat

- die Beschaffung, Bereitstellung, Erhaltung und Ausmusterung von Sachanlagen so zu gestalten und zu lenken,
- dass das angestrebte wirtschaftliche Ergebnis der Unternehmung
- unter Beachtung der betrieblichen Humananforderungen und der sonstigen einengenden Bedingungen wie Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele in
- möglichst hohem Maß erreicht wird.²

Ist die Instandhaltung in der kulturellen und strategischen Ebene eines Unternehmens in das Anlagenmanagement eingebettet, dann gewinnen neben der Erhaltung und permanenten Verbesserung des Abnutzungsgrades der Anlagen auch die Sicherstellung der Prozessqualität derselben (Funktionserfüllung) sowie Nachhaltigkeits- und Energieeffizienzziele an Bedeutung. Hinzu kommen Humanziele wie die Anlagensicherheit und Arbeitsplatzergonomie. Im Sinne der eingangs erwähnten Erfolgspotenziale ist diese Verankerung der Instandhaltung eingebettet in ein umfassendes Asset Management zu fordern.

In der aktuellsten, den Markterfolgskriterien Rechnung tragenden Instandhaltungsphilosophie steht ein proaktives, dynamisch, lern- und wertschöpfungsorientiert gestaltetes Management im Vordergrund. Als übergeordnetes Ziel wird die Maximierung des Wertschöpfungsbeitrags der Instandhaltung am Unternehmenserfolg gesehen. Dazu sind die Leistungen der Instandhaltung so zu managen, dass die spezifischen, der Kritikalität der Anlage entsprechenden Zielwerte für Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit und Prozessqualität permanent verbessert werden. Gleichzeitig trägt eine effiziente Durchführung der Instandhaltungsmaßnahmen zur Reduktion der Instandhaltungskosten bei. Im Bereich der Human- und Sozialziele ist insbesondere die Implementierung einer Wissensorganisation von herausragender Bedeutung um die Fach- und Methodenkompetenz laufend zu erweitern.

Die Problemstellung besteht darin, dass durch Komplexität und sich verändernde Anforderungen seitens des Marktes gekennzeichnete Produktionssysteme bei in der Regel ungenügender Informationslage insofern zu beherrschen, dass die an die Instandhaltung gestellten oben erwähnten Ziele nachhaltig erreicht werden. Dazu bedarf es einer Fülle von Daten und Informationen die in der Regel nicht in der adäquaten Menge und Qualität vorhanden sind und relativ rasch zur Entscheidungsunterstützung zur Verfügung stehen sollten. Insbesondere hierzu kann und wird die künstliche Intelligenz dem Instandhaltungsmanagement wesentliche Unterstützung bieten und die o.e. Managementfunktionen unterstützen.

3 Begriff und Inhalt der Künstlichen Intelligenz (KI)

Der Begriff der *Künstlichen Intelligenz (KI)* wird für eine Reihe von Technologien und Verfahren unterschiedlich verwendet und interpretiert. Daher wird dieser Begriff auch mit vielfältigen Vorstellungen verbunden. Allgemein wird anerkannt, dass KI ein Teilgebiet der Informatik ist, welches sich mit der Imitation intelligenten Verhaltens durch automatisierte Entscheidungssysteme beschäftigt. Hierunter versteht man Verfahren, die auf Algorithmen beruhen und sowohl immaterielle Verfahren wie Massendaten (Big Data) als auch materielle

¹ Vgl. DIN 31051 (2012), S. 4

² Biedermann, H. (2008), S.5

Voraussetzungen wie Hardware und Robotik implizieren. Am Beginn der KI war die Repräsentation von Problemen und Logiken vorherrschend; dies führte zu sogenannten *Experten-systemen* die klar definierte Aufgaben in einem abgegrenzten Themengebiet zu lösen in der Lage sind (Qualitätsmanagement, Fehleranalyse). Allerdings sind sie unflexibel und nur begrenzt lernfähig; so konnten sie sich nicht durchsetzen.

Bei weniger klar definierten und strukturierten Aufgaben, sind fortgeschrittenere Methoden von statistischen Verfahren und *Mustererkennung* nötig, welche eigene Entwicklungs- bzw. Optimierungsprozesse durch Prozesse des *maschinellen Lernens* und *neuronaler Netze* durchlaufen. Der Begriff der künstlichen Intelligenz wurde gewählt um Ähnlichkeiten zum menschlichen Denken und Handeln aufzuzeigen; hierzu werden Aspekte des menschlichen Gehirns nachgebildet. Insbesondere das *Reinforcement-Learning* nutzt ähnliche Prinzipien wie das menschliche Gehirn und ist in der Lage selbstlernende, autonome Algorithmen zu entwickeln, die sich ihrer Umgebung anpassen und vom Feedback lernen können. Während in der traditionellen Programmierung Daten und Regeln explizit definiert werden um Resultate zu erzielen, werden beim maschinellen Lernen dem Computer Resultate und Daten übergeben welcher daraus Regeln entwickelt die für weitere Aufgaben zur Anwendung gebracht werden können. Maschinelles Lernen beschäftigt sich damit Maschinen und Computern das Lernen beizubringen. Hierzu müssen - wie erwähnt - Verfahren in der Lage sein aus Daten Regeln bzw. Resultate (also Wissen) abzuleiten. Mit Hilfe von unterschiedlichen Methoden werden Zusammenhänge in bestehenden Datensätzen erkannt, die als Basis für Prognosen dienen. Eine Übersicht hierzu gibt Abbildung 1.

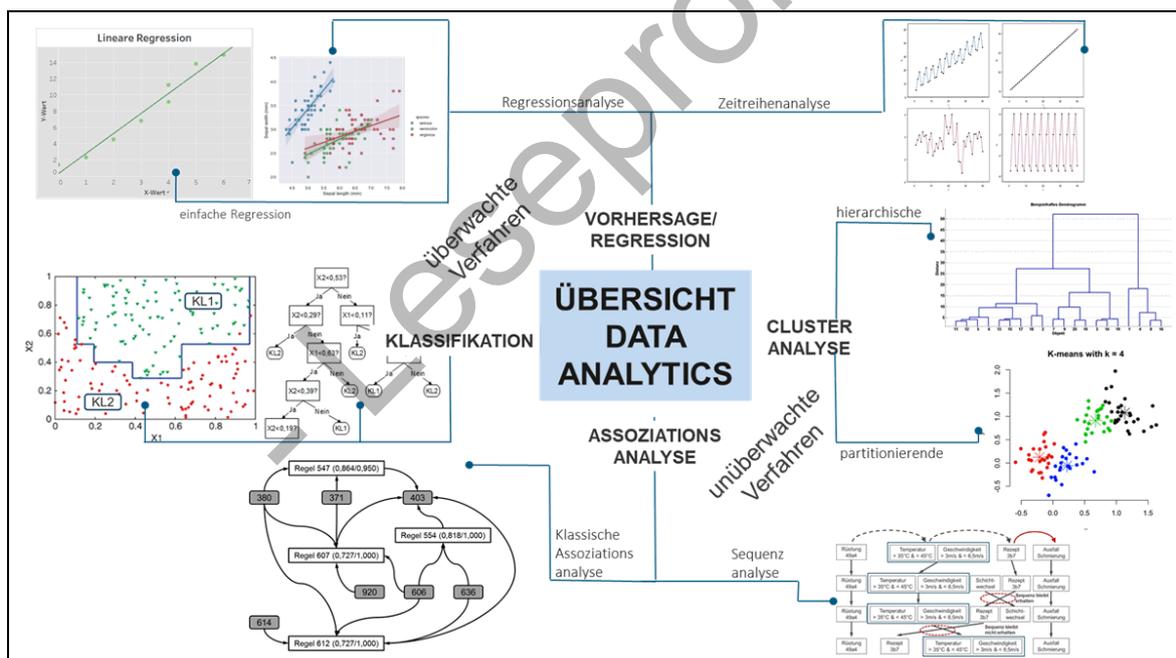


Abbildung 1: Data Analytics Verfahrensübersicht

Man kann drei Arten des maschinellen Lernens unterscheiden und zwar: überwachtes Lernen (Supervised Learning), unüberwachtes Lernen (Unsupervised Learning) und verstärkendes Lernen (Reinforcement Learning). Während beim überwachten Lernen (siehe Abbildung 1) Algorithmen die mit vielen beschrifteten (gelabelten) Daten trainiert werden, versucht man beim unüberwachten Lernen Muster in Daten zu finden, die nicht beschriftet wurden. Verstärkende Lern-Algorithmen versuchen für ein definiertes Problem die beste Strategie zu erlernen. Die zunehmende Leistungsfähigkeit wird durch verbesserte KI-Algorithmik (künstliche neuronale Netze), die Verfügbarkeit von großen Datenmengen und den Einsatz

von hohen Rechnungsleistungen durch *Cloud-Technologien* ermöglicht. *Neuronale Netze* sind ebenfalls Verfahren des überwachten Lernens und in der Lage nichtlineare Zusammenhänge abzubilden. Eine besondere Form des überwachten maschinellen Lernens stellt das *Deep Learning* dar, welches als tiefes bzw. mehrschichtiges Lernen Modelle liefert die wesentlich komplexer als herkömmliche neuronale Netze sind. Deep Learning liefert bei der Erkennung und Verarbeitung von Bild- und Videodaten sowie Textdaten bereits hervorragende Lösungen. Diese können insbesondere dann erreicht werden, wenn große Datenmengen vorliegen, die das Training der Modelle ermöglicht. In der Wissenschaft wird unterschieden in *Narrow-KI*, *General-KI* und *Super-KI*. *Narrow-KI* eignet sich für spezifische Themen und Prozesse; *General-KI* ist auf ein beliebiges Thema anpassbar und aktuell Forschungsgegenstand aber noch nicht Realität. *Super KI* wäre der menschlichen Intelligenz überlegen und ist Spekulation.

In Kombination mit der Digitalisierung bzw. dem Begriff von Industrie 4.0 mit der intelligenten Vernetzung von Maschinen und Prozessen unter Anwendung von Technologien zur Speicherung und Verarbeitung von Daten (IoT) kann KI durch die an Anlagen, in Prozessen und dispositiven Planungs- und Organisationsvorgaben erfassten Daten durch deren Analyse ihr Potenzial entfalten. Dadurch lassen sich unter anderem:

- Stillstände vermeiden, die
- Prozessqualität verbessern,
- Fehleranalysen durchführen und die
- Dispositionsqualität in der Kapazitätsplanung verbessern.

Zusätzlich stellen *Virtual Reality*- und *Augmented Reality*-Systeme weitere Möglichkeiten zur Unterstützung von Entscheidungsprozessen aber auch der Vernetzung dar. Auch die Verarbeitung natürlicher Sprache leistet einen wesentlichen Beitrag zu Verbesserungen in der KI-Forschung und der Wirtschaft. Wenn Roboter sprechen verbirgt sich dahinter ein mehrstufiger Prozess, in welchem die Textanalyse eine entscheidende Rolle spielt. Diese Technologie zur Verarbeitung von Fragen wird als „*Natural Language Processing*“ (*NLP*) bezeichnet; die Generierung von Texten und Sprache als „*Natural Language Generation*“ (*NLG*).

NLP und Deep Learning können zur detaillierten Textuntersuchung kombiniert werden. Die Textsuche verläuft IT-gestützt im Vergleich zu einer relationalen Suche deutlich schneller und das Kopieren und entdecken von Ausnahmen in Texten gelingt bereits ausgezeichnet. Softwareroboter werden als Bots bezeichnet und antworten scheinbar direkt auf Fragen die vom Menschen oder anderen Bots gestellt werden.

Bei einem *Chatbot* wird aus der Transkription einer Spracheingabe ein Suchalgorithmus erzeugt welcher durch Analyse bzw. dem Vergleich mit weiteren Texten zu einem Suchergebnis führt aus Letzterem werden Konsequenzen abgeleitet welche zu einem geschriebenen Text bzw. einer Antwort führen. Dies geschieht sehr schnell und führt zu durchaus passenden Antworten. In diesem Zusammenhang spricht man auch von *Edge-KI*. Erfolgt eine Kommunikation zwischen Robotern und Menschen durch ständigen Wechsel von NLP und NLG lernen beide voneinander und die Grammatik bzw. Semantik oder Syntax wird „gelernt“. Sie entwickeln damit eine eigene Sprache.

Die *Blockchain* schließlich ermöglicht die fälschungssichere Dokumentation von Prozess- und Produktparametern; eine entscheidende Unterstützung die die Forderung nach wachsender Transparenz erfüllen. Die durch die verschiedenen Systeme gewonnenen Daten ergeben in Kombination mit der künstlichen Intelligenz die Möglichkeit der Erstellung von *KI-basierten Modellen* mit zunehmender Genauigkeit und der Prognose der zu erwartenden Ergebnisse.

4 Lean Smart Maintenance - Philosophie

Vor dem Hintergrund der sich wandelnden Rahmenbedingungen und den vorgenannten Entwicklungen in der KI insbesondere auch der Digitalisierung bzw. durch Ind.4.0 wurde die in zahlreichen Unternehmen eingeführte Total Productive Maintenance - Philosophie weiterentwickelt. Das Ziel ist dabei, einen wesentlichen Beitrag zur Wertschöpfung des Industrieunternehmens zu ermöglichen und durch IT-gestützte Lernstrukturen die *agil-dynamische Weiterentwicklung der Instandhaltung* zu ermöglichen. Das Konzept verfolgt nach wie vor das Primärziel höchste Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit bei strategisch relevanten „Assets“ sicherzustellen. Darüber hinaus haltet die eingangs erwähnte LC-Orientierung ebenso Einzug wird die Erhöhung der Prozessqualität und der Energie- und Medieneffizienz. Hierzu sind jene Anlagenbaugruppen bzw. -elemente zu identifizieren deren Anlagenstillstände, Kapazitätsminderungen, Qualitätsbeeinträchtigungen oder Energieineffizienzen auf der Markt- und Produktseite hohes Ausfallkostenpotenzial induzieren oder Mitarbeiter- und Umweltgefährdungen hervorrufen können. Das wertschöpfungsorientierte Instandhaltungsmanagement basierend auf dem Smart- und Lean-Ansatz erfordert eine Planung und Steuerung der Instandhaltung die dynamisch auf Veränderungen in der Anlagenstruktur bzw. den Produktionsprozessen zu reagieren vermag. Das normativ-strategisch orientierte ganzheitliche Managementkonzept beinhaltet Führungsinstrumente die im Zusammenwirken und durch Unterstützung eines adäquaten daten- und informationsbasierten Controlling-Systems den Reifegrad der Instandhaltung betreffend deren Adaptionen- und Prognosefähigkeit erhöhen (s. Abb.2).



Abbildung 2: Elemente des LSM-Managementkonzepts³

Basierend auf einer kritikalitätsbezogenen Anlagenbewertung und -klassifikation werden in der dualen Strategie (Lean & Smart) die Ausfall- bzw. Störungsvermeidung durch

³ Vgl. Biedermann, H. (2016), S. 20

entsprechend datenanalytisch gestützte vorbeugende Instandhaltungsstrategien unter Beachtung der nötigen Instandhaltungseffizienz verfolgt. Basis hierzu ist eine ausreichende Datenqualität die die Basis für die unterschiedlichen in Kapitel 3 erwähnten KI-Instrumente und -Methoden ist. Dezentrale teilautonom handelnde Mitarbeiter erlauben durch adäquat ausgestaltete KI-Unterstützung gepaart mit wissensbasierten Lernstrukturen die permanente Kompetenzerweiterung der Mitarbeiter.

5 Entscheidungs- und Ordnungsrahmen des Instandhaltungsmanagements

Das *normative Instandhaltungsmanagement* nimmt die Ableitung der generellen Instandhaltungsziele aus den Stakeholder - Erwartungen bzw. den Unternehmenszielen. Ausdruck finden die Prinzipien, Normen und Verhaltensregeln in dem dokumentierten Instandhaltungsleitbild, welches das normative Selbstverständnis des Instandhaltungsmanagements beschreibt und die Mitarbeiter in ihrer täglichen Ausrichtung in den Entscheidungs- und Handlungsprozessen legitimiert.

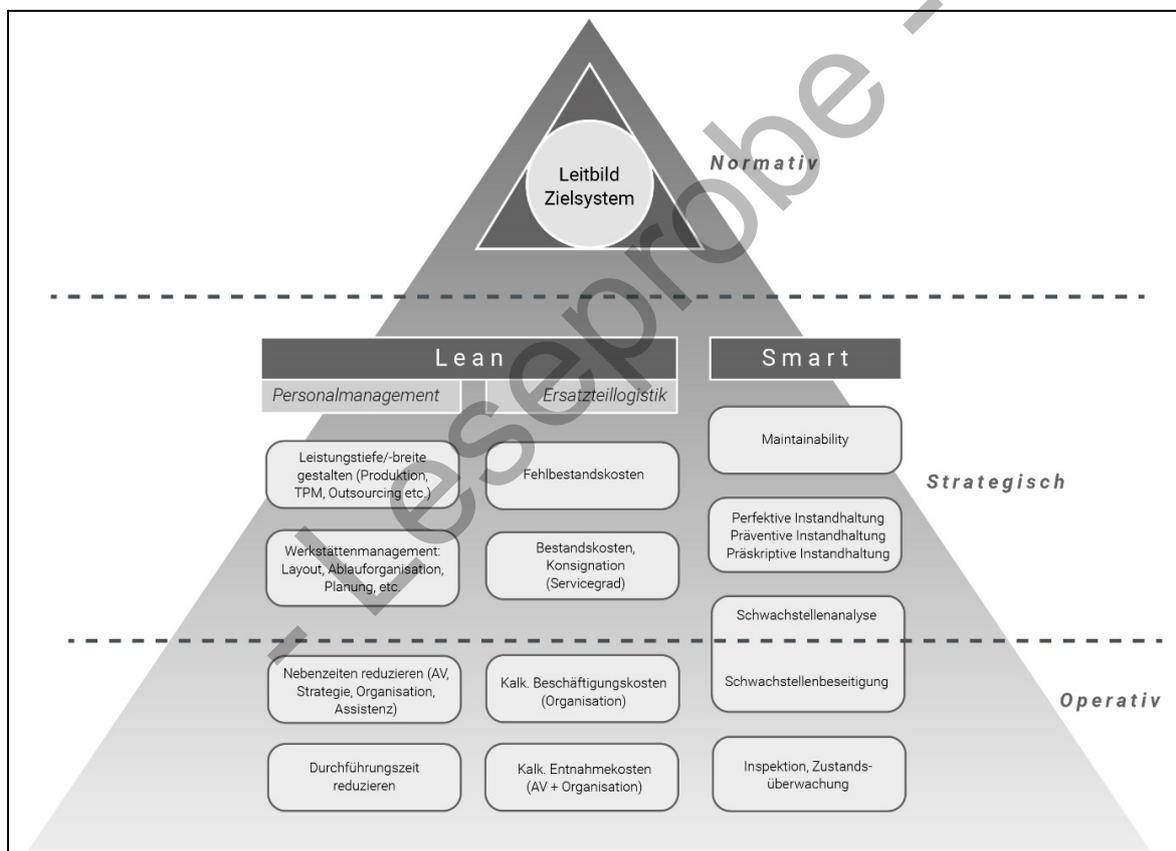


Abbildung 3: Maßnahmen und Handlungsfelder im LSM Konzept⁴

Das *strategische Instandhaltungsmanagement* ist ausgerichtet auf den Aufbau und die Weiterentwicklung der wertschöpfungsorientierten Erfolgspotenziale unter Berücksichtigung der notwendigen Ressourcenallokation (siehe Abb. 2). Kernaufgaben sind damit auf der planerischen Ebene die Gestaltung von Programmen und auf der organisatorischen Ebene die Auslegung von Strukturen und Systemen des Instandhaltungsmanagements.

⁴ Vgl. Biedermann, H. (2019), S. 30

Ihre Umsetzung finden das normative und strategische Management im *operativen Aufgabenvollzug* der Instandhaltung d.h. die mittel- bis kurzfristige Realisierung der Instandhaltungsaufgaben über die operative Instandhaltungsziel- und Instandhaltungsprogrammplanung. Mit der konkreten Auftragseinplanung (Wartung, Inspektion, präventiv-prädiktive Instandsetzung) wird der Durchführungsauftrag generiert.

Die Auftragssteuerung im operativen Vollzug berücksichtigt die ungeplant auftretende Instandsetzung und führt mittels der Auftragseinplanung zu einer *dynamischen Ausrichtung und Realisierung der mittelfristig geplanten Instandhaltungsstrategie*. Das Auftragswesen dient traditionell – leider oft ausschließlich im Fokus stehend - zur innerbetrieblichen Leistungsverrechnung und Budgetkontrolle; sollte jedoch insbesondere zur Überprüfung und ggf. *Anpassung der Instandhaltungsstrategie* dienen. Abgeleitet aus der Auftragssteuerung wird in einem umfassenden Auftragscontrolling, ergänzt durch Kennzahlensysteme und Datenmanagement, in Form der *Schwachstellenanalyse* sowohl auf der operativen insbesondere aber auf der strategischen Ebene die gewählte Instandhaltungsstrategie verifiziert und der Zielabgleich mit den strategischen Instandhaltungszielen durchgeführt⁵. Abbildung 3 zeigt das Zusammenwirken der Handlungsfelder über die drei Managementebenen hinweg.

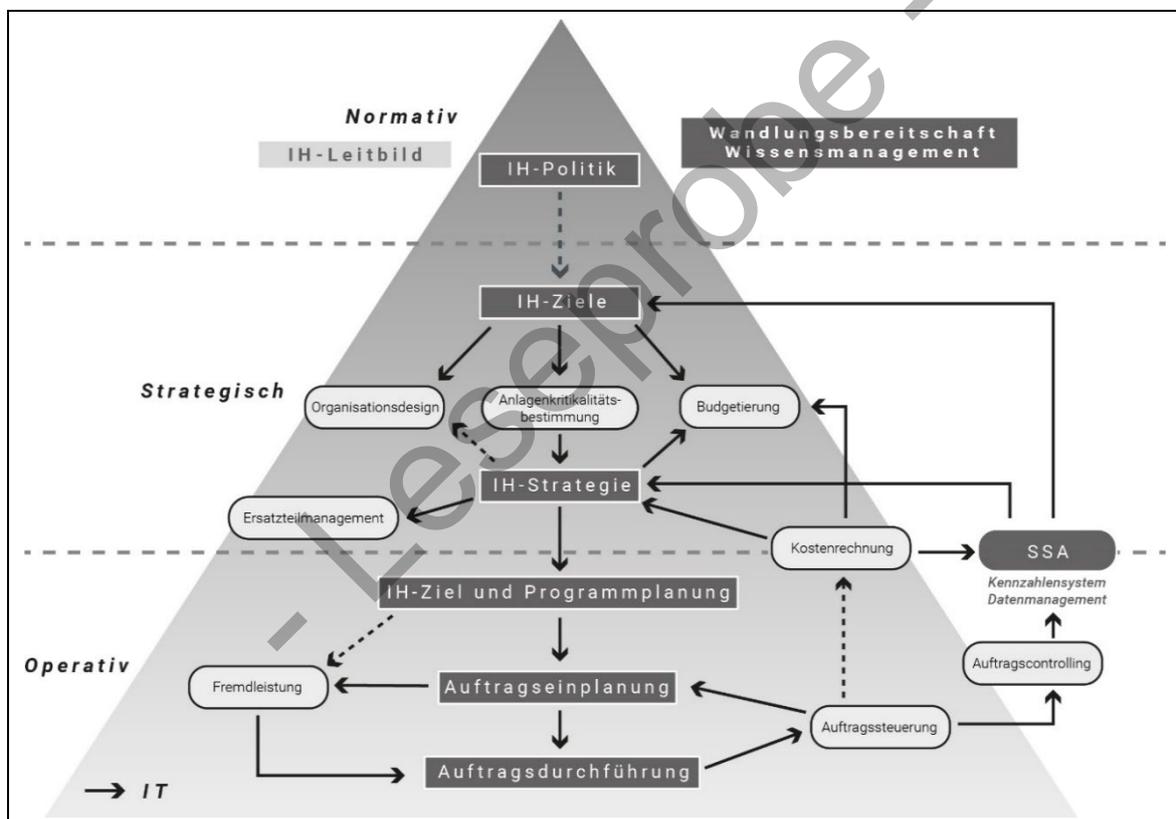


Abbildung 4: Zusammenwirken der Managementfunktionen und ihre IT Unterstützung⁶

Ohne Daten, Informationen und damit verbundenen Erkenntnis- d.h. Lernprozessen vermag das Managementgesamtkonzept seine Wirkung des Soll/Ist-Vergleiches mittels einer permanenten Potenzialanalyse⁷ nur eingeschränkt entfalten. In weiterer Folge wird beispielhaft auf die KI – gestützten Handlungsfelder näher eingegangen, die das Konzept der agilen, lern- und wertschöpfungsorientierten Instandhaltung besonders unterstützen.

⁵ Kinz, A.; Bernerstätter, R. (2016), S. 93 f.

⁶ Vgl. Biedermann, H. (2019), S.31

⁷ Vgl. Biedermann, H. (2017), S. 28 f.

6 Anwendungsfelder der KI im Instandhaltungsmanagement

Wie in Kapitel 3 beschrieben bieten die unter dem Begriff der künstlichen Intelligenz zusammengefassten Instrumente und Methoden bereits heute zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten und damit Potenziale die Instandhaltung wertschöpfend zu unterstützen bzw. auszugestalten.

Durch eine vertikale Integration der IT Systeme von der operativen bis zur strategischen Ebene steht eine Fülle von Daten und Informationen zur Verfügung die sowohl auf der strategischen Ebene zur Ausfallvermeidung, Erhöhung der Prozessqualität und nachhaltiger Schadstellenbeseitigung bzw. Anlagenverbesserung bis hin zu Lebensdauererweiterung der Anlagekomponenten reicht.

Die dispositiven und operativen Effizienz bietet ebenso zahlreiche Anwendungsfelder die von der kritikalitätsorientierten Budgetierung über das Ersatzteilmanagement der verknüpften Produktions- und Instandhaltungsprogrammplanung bis hin zur Auftragssteuerung und der automatisierten Generierung von Führungskennzahlen reicht. Abbildung 4 zeigt die Einordnung der effizienz- und effektivitätssteigernden Maßnahmenbündel ins normative, strategische und operative Management. Diese sind gleichzeitig Adressaten der Digitalisierung und der Anwendung von KI-Verfahren zur Prognose, Fehleridentifikation und dynamischen Strategieanpassung im Aufgabenspektrum der Instandhaltung. In Verfolgung des lernorientierten Ansatzes (Smart) werden nachhaltige Maßnahmen zur Ausfall- und Störungsvermeidung ebenso gesetzt wie durch Leistungsrationalisierung und Prozesseffizienz im Personalmanagement und der Ersatzteillogistik (Lean, siehe Abbildung 3).

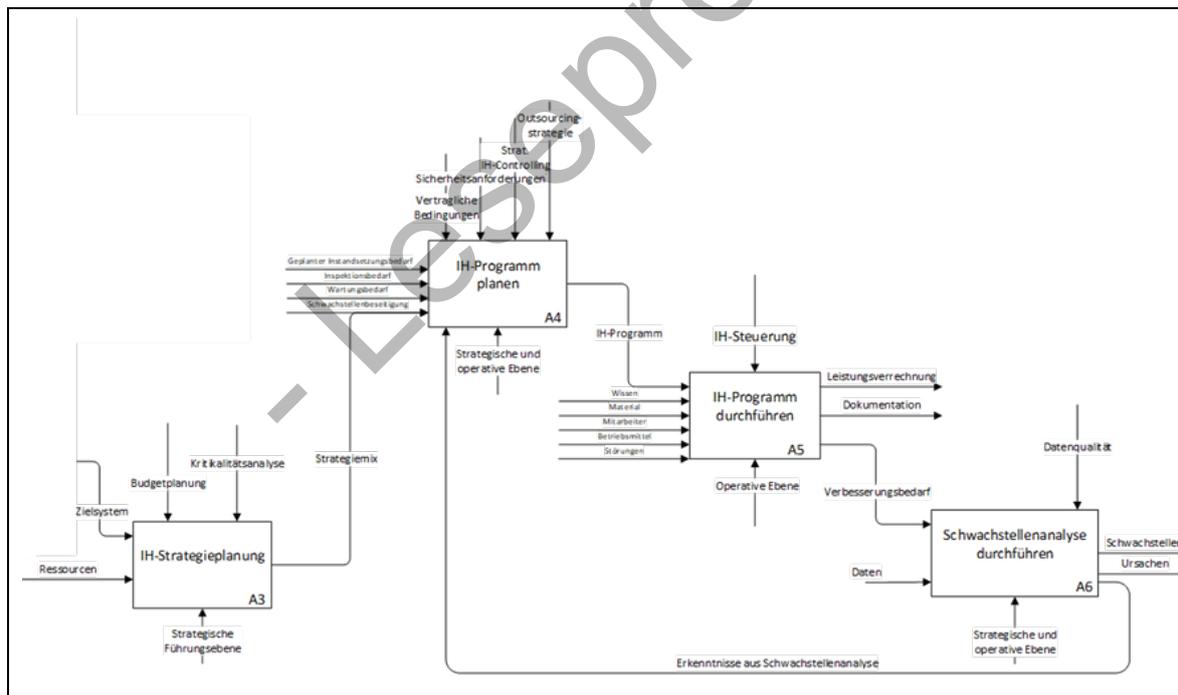


Abbildung 5: Referenzfunktionsmodell des IH-Managementsystems zur Datenableitung⁸

Die Identifikation und Bewertung der KI-Unterstützungspotenziale erfolgt auf Grundlage der Prozess-, Tätigkeits-, Daten- und Anwendungsstruktur im Regelkreismodell der Instandhaltung (siehe hierzu Abbildung 5). Die identifizierten KI-Anwendungsfelder werden nach-

⁸ Vgl. Kühnast, R.; Niederl, P. (2020), S. 80

folgend den Handlungsfeldern Smart-bzw. Lean-Management innerhalb der Instandhaltung zugeordnet.

6.1 KI-Anwendungsfelder im Smart - Ansatz

Instandhaltungsstrategie – Prädiktive/Präskriptive Instandhaltung

Durch regelmäßige bzw. permanente Erfassung aller relevanten Bauteil- bzw. Prozessparameter gegebenenfalls unterstützt durch zusätzliche Sensorik wie Bild- und Audio-Sensoren wird das Ziel verfolgt den Bauteilverschleißzustand abzuleiten und den Ausfallzeitpunkt zu prognostizieren. Häufig werden hier Verfahren der Anomalieerkennung eingesetzt, die aus den verfügbaren Daten den zulässigen Bereich der bauteil- und prozessbeschreibenden Kenngrößen lernt und in Echtzeit Abweichungen erkennen kann. So werden im frühen Stadium Ausfälle von Anlagen erkannt oder Auswirkungen von sich verschlechternder Prozessqualität auf die Produktqualität identifiziert. Das Ziel ist das rechtzeitige Eingreifen vor Schadenseintritt, Kostenreduzierung durch Vermeidung von Ausfallkosten, Senkung des Ersatzteilbedarfs und Anlagenlebensdaueroptimierung. Damit verbunden ist Anlagensicherheit und Anlageneffizienz. Voraussetzung für die zustandsorientiert-vorausschauende Instandhaltung sind einerseits prozess- und produktbezogene Inputdaten sowie zeitsynchronisiert aktualisierte Instandhaltungsdaten. Diese werden wiederum durch entsprechende Analysen unterstützt die das Erkennen und Verstehen von Beziehungen innerhalb und zwischen Informationsbasen ermöglichen⁹. Neben den datenbasierten Verfahren kommen auch vermehrt modellbasierte Verfahren zum Einsatz die als Schadens- bzw. Expertenmodelle den Verschleißfortschritt prognostizieren. Gute Ergebnisse liefern auch multiple Modellansätze in welchem Modelle parallel rechnen und durch geeignete Kooperationsverfahren eine kumulative Aussage über den zu erwartenden Ausfall treffen¹⁰Voraussetzung für Predictive Maintenance ebenso wie für eine umfassendere Schwachstellenanalyse ist die Realisierung der sechs „V“ (*Volume, Variety, Velocity, Value, Veracity, Visualisation*). Ist es im *Volume*aspekt der Anstieg der Datenmengen und die Herausforderung diese Daten zu verwalten und effizient analysieren zu können, so gilt es im Aspekt der *Variety* unterschiedliche Datenformate flexibel zu integrieren. Werden über Sensoren hinausgehend Fremddaten (zum Beispiel der zu bearbeitende Wirkstoff im Rahmen des Produktionsvollzugs) oder unstrukturierte Daten (Audio- und Bildmaterial) verwendet, so steigt die Komplexität der Datenauswertung. Der Aspekt der *Velocity* ermöglicht durch die direkte und zeitnahe Datenverarbeitung Echtzeitanalysen und ist ein entscheidendes technisches. Für die Predictive Maintenance hängt die zu fordernde Datengeschwindigkeit vom jeweiligen Kontext ab. Bei stark verschleißenden Werkzeugen ist eine real-time Bearbeitung notwendig; bei der Prognose von Wartungsmaßnahmen ist zumeist eine Patch-Verarbeitung ausreichend. Zusätzlich zur Datenmenge ist damit auch die optimale Übergangszeit festzulegen, die wiederum die Menge an Daten beeinflusst. Die *Value* Forderung bedeutet, dass diese Daten einen Mehrwert generieren; im Bereich der vorausschauenden Instandhaltung quantifizierbar durch die OEE-Erhöhung bzw. Ausfallkostenreduzierung. Die Plausibilität bzw. Richtigkeit (*Veracity*) adressiert den Umstand, dass die wahllose Aufzeichnung der Daten aus unterschiedlichen Datenquellen, die Datenqualität sinken lässt. Ein insbesondere bei der vorausschauenden Instandhaltung ganz wesentlicher Aspekt. Die *Visualisierung* unterstützt die Planung und Durchführung im Aufgabenvollzug den Anlagenbediener oder Instandhalter und trägt ganz wesentlich zur Effizienzsteigerung (Lean Aspekt) bei.

⁹ Vgl. Biedermann, H. (2018), S. 32 ff.

¹⁰ Eine Übersicht hierzu bietet Biedermann. H. (2018), S. 23 ff

Ein interessanter Ansatz der präskriptiven Instandhaltung ist die Identifikation und proaktive Verlängerung künftiger Zeitfenster zur Planung von präventiven Maßnahmen durch die Anwendung multivariater statistischer Verfahren und maschineller Lernverfahren in Kombination mit ereignisdiskreter Simulation. Es werden hierzu die geplanten Instandhaltungsmaßnahmen und die Daten der Produktionsprogrammplanung genutzt. Neben der Einsparung von vorbeugenden Instandhaltungstätigkeiten in schichtfreien Zeiträumen (Lean Aspekt) gelingt es in der geplanten Betriebszeit die Anlagen (hier Flexible Fertigungssysteme) besser auszulasten und damit den Produktionsoutput zu erhöhen (Smart Aspekt). Die Ergebnisse ermöglichen auch ein gezieltes Abschalten nicht benötigter Anlagen und damit eine Senkung des Energieverbrauches.¹¹ Der Gesamtansatz basiert auf einem statisch fixiertem vorbeugendem Instandhaltungsprogramm. Es ist abzusehen, dass in naher Zukunft auch hier Fortschritte in Richtung einer dynamischen Adaptierung der IH-Maßnahmen erzielt werden. Basis für die Weiterentwicklung und dynamische Anpassung der Instandhaltung ist eine umfassende Schwachstellenanalyse.

Schwachstellenanalyse

Diese verfolgt das Ziel organisatorische, planerische, menschliche und technische Schwachstellen zu identifizieren, deren Ursache zu ermitteln und Gegenmaßnahme einzuleiten. Dazu müssen der Schwachstellenanalyse Daten über Ausfallwahrscheinlichkeiten und Anlagenzustände über Instandhaltungsmaßnahmen und -kosten, Zuverlässigkeitskennwerte auf Bauteil- und Ersatzteilebene, physikalische Messgrößen sowie Energie- und Betriebsdaten des Prozesses sowie Qualitätsdaten von Produkten zur Verfügung stehen. Damit ist die Schwachstellenanalyse prinzipiell in der Lage Handlungsfelder zu identifizieren. Diese ermöglichen u.a. Verbesserungen des Anlagenabnutzungsgrades einzuleiten, die Anlagenverfügbarkeit zu steigern, den Ersatzteilbedarf zu vermindern und damit die Instandhaltungskosten zu senken. Der Wissenszugewinn durch Informationsbeschaffung und -auswertung zum Betriebs-, Schädigungs- und Organisationsverhalten ist von hohem Wert. Der datenanalytische Reifegrad der Organisation - siehe vorstehende 6 „V’s“ - betreffend deren Datenqualität bestimmt entscheidend die Möglichkeiten der datenanalytischen Schwachstellenanalyse. Hier liegt insbesondere das Anwendungsfeld des unüberwachten Lernens. Die am häufigsten angewendeten Verfahren des überwachten Lernens sind zumeist die Klassifizierung und Regression gearbeitet wird. Da die Algorithmen mit einer hohen Menge von Eingabedaten die Ausgabedaten zuzuordnen sind, trainiert werden, haben diese Verfahren sehr wenig Lösungspotenzial für die Schwachstellenanalyse. Sie sind sehr gut geeignet für die Prognose des Verschleißfortschrittes im Rahmen der Predictive Maintenance. Neuronale Netze haben den Nachteil, dass sie ein Blackbox-Verfahren darstellen und damit die Lösung schwer nachvollziehbar ist. Deep Learning und Transferlernen bieten die Möglichkeit ein Modell welches sich für eine Problemlösung bewährt hat, als Startpunkt für ein neues Problem anzuwenden und dabei auf das alte Modell aufzubauen. Im Bereich der Bild- und Texterkennung hat sich Transferlernen bewährt.

In Form eines *Asset Performance Management* kann KI eine globale 360-Grad-Ansicht der Anlagen liefern und potenzielle Störquellen automatisch identifizieren. Dabei kann dieselbe auch verschiedene Szenarien simulieren und die beste Strategie für die Instandhaltung vorschlagen.¹²

¹¹ Vgl. Wocker, M. (2023)

¹² <https://www.ibm.com/de-de/products/maximo/asset-performance-management>

6.2 KI-Anwendungsfelder im Lean - Ansatz

Virtual- und Augmented Reality Systeme

Hohes Potenzial wird in Forschung und Entwicklung der interaktiven Visualisierung von sensorgestützten Echtzeitdaten zur Unterstützung der Instandhaltungsdurchführung beigemessen. Virtual, Augmented und Mixed Reality Technologien bieten nicht nur die computergestützte Erweiterung der menschlichen Wahrnehmung, sondern auch die Bereitstellung einer intuitiven Benutzerschnittstelle, die sich in das Umfeld des Menschen integriert. Diese Arbeitsunterstützungen versorgen den Instandhalter bei Tätigkeiten mit konkreten Informationen, Sicherheitswarnungen u.v.m. Aktuelle Anlagendaten werden am tragbaren Gerät (Smartphone, Tablet) oder direkt im Sichtfeld mittels Smart Glasses eingeblendet. Die Information ist aus der realen Welt gewonnen und erscheint direkt an der Maschine oder Werkstück. Somit tragen diese zur Steigerung der Durchführungseffizienz und der Qualität von Instandhaltungsarbeiten bei. In wissensgestützten Systemen kann der Vorort-Instandhalter auf einen umfangreichen Lösungspool zugreifen und bei Problemen einen örtlich getrennten Experten kontaktieren. Mittels geteiltem Kamerabild kann der Mitarbeiter den Remote Support direkt einblenden. Die virtuelle Inbetriebnahme zur Weiterbildung und Schulung des Instandhaltungspersonals sind nur einige wenige Beispiele die dem Lean- und Smartaspekt Rechnung tragen. Ein *Equipment Maintenance Assistant* basierend auf KI kann die Instandhalter unterstützen, indem er ihnen relevante Informationen, Anleitungen, Tipps und Feedback zur Verfügung stellt¹³. Diese Systeme können Augmented Reality nutzen, um die Techniker visuell zu leiten oder ihnen virtuelle Experten zur Seite zu stellen.

Mobile Lösungen

Diese sollen Instandhaltungstätigkeiten durch Ortsunabhängigkeit, Erreichbarkeit und Kontextsensitivität unterstützen. Durch die Ortsunabhängigkeit hat der Servicetechniker mit dem mobilen Endgerät unabhängig vom Aufenthaltsort die Möglichkeit Echtzeitinformationen abzurufen und Transaktionen durchzuführen. Die Informationen sind an jedem Ort verfügbar und der mobile Nutzer ist prinzipiell überall erreichbar. Die Kontextsensitivität ermöglicht es das technische Umfeld rund um den Servicetechniker zu erfassen und auszuwerten und diese Informationen dem Instandhalter bereitzustellen insbesondere dann, wenn dieser Knowhow - intensive und komplexe Tätigkeiten durchführen und dokumentieren muss. Mobile Lösungen erlauben die Navigation zum Instandhaltungsobjekt, die Unterstützung bei der Störungsbehebung und die Auftragsrückmeldung am mobilen Endgerät. Mittels RFID können sowohl die eingebauten Bauteile und Baugruppen als auch die Ersatzteile erfasst werden. Die zur Arbeitsausführung oder zur Steuerung von Prozessen notwendigen Informationen können direkt vor Ort ohne Anschluss an ein zentrales IT-System erhalten und manuell komplexere Prozesse mit mobilen Endgeräten automatisiert werden. Unterschiedliche Frequenzen ermöglichen hohe Lesegeschwindigkeiten, hohe Speichervolumen und die Wiederverwendbarkeit von Transpondern.

Insbesondere im Ersatzteilwesen ermöglicht RFID die Identifizierung von Ersatzteilen, die Ersatzteilzuordnung, die automatische Buchung von Ersatzteilen und damit auch eine beschleunigte Inventur.

¹³ https://www.ibm.com/docs/en/SSZNPQ_1.1.1/com.ibm.ei.doc/m_ei_toc_pdf_onprem.pdf

7 Literatur

Biedermann, H. (2008): Anlagenmanagement – Managementinstrumente zur Wertsteigerung. 2. Auflage, TÜV Media, Köln

Biedermann, H. (2016): Lean Smart Maintenance – Wertschöpfende, lernorientierte und ressourceneffiziente Instandhaltung. In: Biedermann, H. (Hrsg.) Lean Smart Maintenance – Konzepte, Instrumente und Anwendungen für eine effiziente und intelligente Instandhaltung. TÜV Media, Köln

Biedermann, H. (2017): Lean Smart Maintenance – Controlling. In: Biedermann, H. (Hrsg.) Erfolg durch Lean Smart Maintenance – Bausteine und Wege des Wandels. TÜV Media, Köln

Biedermann, H. (2018): Predictive Maintenance – Möglichkeiten und Grenzen. In: Biedermann, H. (Hrsg.) Predictive Maintenance – Realität und Vision. TÜV Media, Köln

Biedermann, H. (2019): Digitalisierte Instandhaltung komplex, agil, datengetrieben. In: Biedermann, H. (Hrsg.): Digitalisierte Instandhaltung – Stand und Perspektiven TÜV Media, Köln

DIN 31051 (2012): DIN 31051:2012-09, Grundlagen der Instandhaltung

Kinz, A.; Bernerstätter, R. (2016): Instandhaltungsoptimierung mittels Lean Smart Maintenance. In: Biedermann, H. (Hrsg.) Lean Smart Maintenance – Konzepte, Instrumente und Anwendungen für eine effiziente und intelligente Instandhaltung. TÜV Media, Köln

Kühnast, R.; Niederl, P. (2020): Predictive Maintenance im Informationssystem Instandhaltung. In: Biedermann, H. (Hrsg.) Wertschöpfende Instandhaltung – Tools, Methoden und Modelle. TÜV Media, Köln

Wocker, M. (2023): Präskriptive Methodik zur integrierten Instandhaltungs- und Produktionssteuerung in Flexiblen Fertigungssystemen. Dissertation TU Dortmund