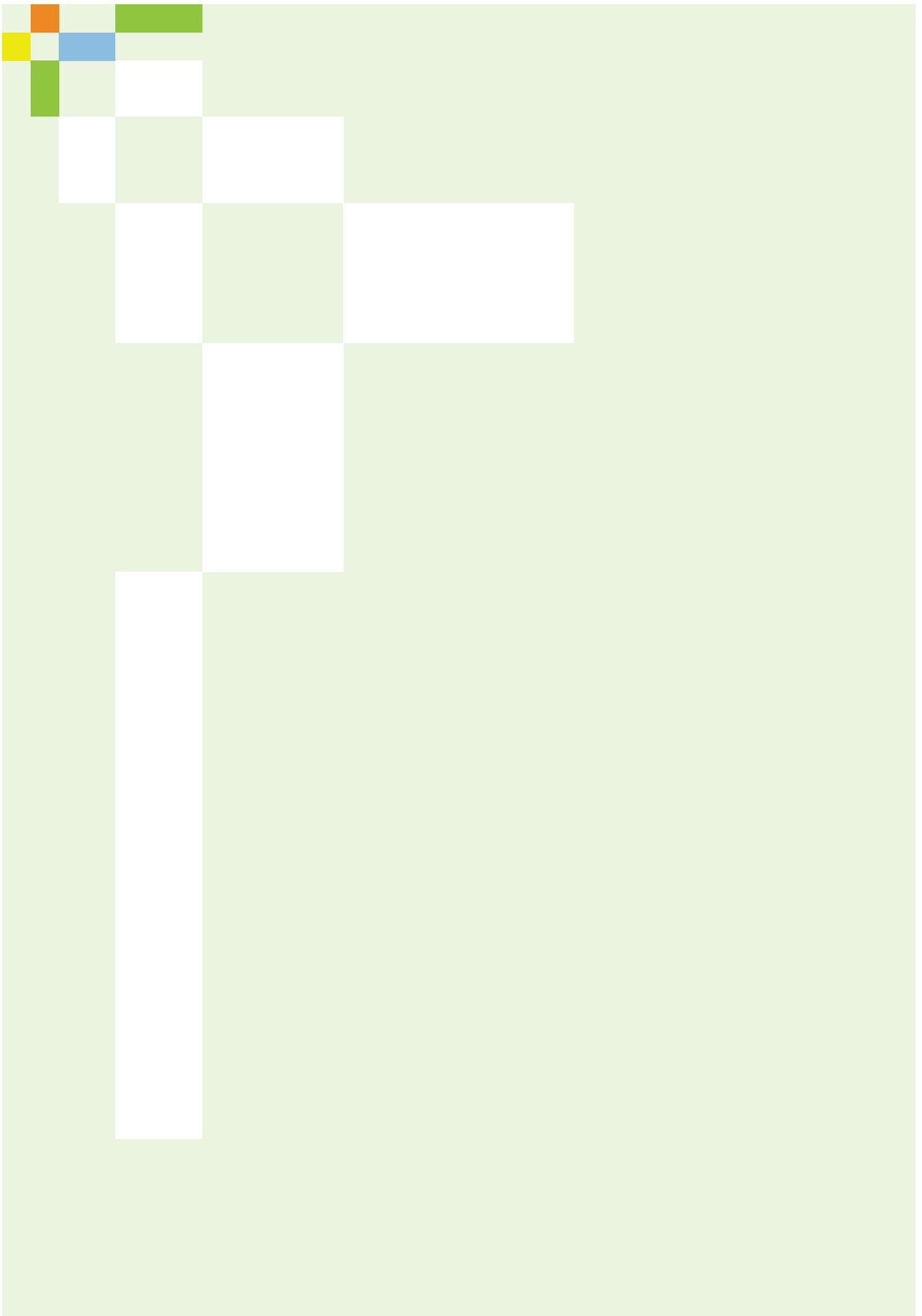




acatech **STUDIE**

Smart Maintenance – Der Weg vom Status quo zur Zielvision

Michael Henke, Thomas Heller,
Volker Stich (Hrsg.)



acatech STUDIE

Smart Maintenance – Der Weg vom Status quo zur Zielvision

Michael Henke, Thomas Heller,
Volker Stich (Hrsg.)



Die Reihe acatech STUDIE

In dieser Reihe erscheinen die Ergebnisberichte von Projekten der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften. Die Studien haben das Ziel der Politik- und Gesellschaftsberatung zu technikkissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen.

Alle bisher erschienenen acatech Publikationen stehen unter www.acatech.de/publikationen zur Verfügung.

Inhalt

Projekt	5
1 Einleitung	6
2 Zielsetzung und Methodik	8
3 Definition und Abgrenzung relevanter Begrifflichkeiten	10
4 Beschreibung des Status quo	14
4.1 Instandhaltungsstrategien	16
4.2 Wissensmanagement	18
4.3 Assistenzsysteme	20
4.4 Ersatzteilmanagement	21
4.5 Kompetenzentwicklung	22
4.6 Ökonomische Sicht	23
4.7 Fazit	26
5 Entwicklung einer Zielvision „Smart Maintenance“	28
5.1 Gemeinsame Planung	31
5.2 Verfügbarkeitsorientierung	35
5.3 Flexibilität	36
5.4 Wissensmanagement	38
5.5 Ersatzteilmanagement	41
5.6 Wertbeitrag	43
5.7 Für alle Handlungsfelder relevant	44
5.8 Zukünftige Handlungsfelder	46
5.9 Fazit	46
6 Von der Zielvision zur Umsetzung – Gestaltung einer Roadmap	48
6.1 Gemeinsame Planung	50
6.2 Verfügbarkeitsorientierung	51
6.3 Flexibilität	52
6.4 Wissensmanagement	53
6.5 Ersatzteilmanagement	54
6.6 Wertbeitrag	55
6.7 Fazit	57
Literatur	59



Projekt

Projektleitung

Prof. Dr. Michael Henke, Technische Universität Dortmund/
Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML/acatech

Projektgruppe

Die Zusammenarbeit mit den nachfolgend genannten Fachleuten erfolgte über gemeinsame Projektgruppentreffen (im Zeitraum vom Oktober 2018 bis März 2019) sowie im Rahmen des InstandhaltungsForums 2019 am Fraunhofer IML (Mai 2019).

- Thomas Anlahr, James Hardie Europe GmbH
- Prof. Dr.-Ing. Gerhard Bandow, Fachhochschule Dortmund
- Franz Braun, Bilfinger Digital Next GmbH
- Dr.-Ing. Paulin Fideu, Airbus Operations GmbH
- Dr.-Ing. Thomas Heller, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML
- Prof. Dr. Michael Henke, Technische Universität Dortmund/
Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML/
acatech
- Dr.-Ing. Philipp Jussen, FIR e. V. an der RWTH Aachen
- Prof. Dr.-Ing. Axel Kuhn, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML/acatech
- Dr. Martin G. Eckert, WVIS – Wirtschaftsverband für
Industrieservice e. V.
- Dr. Clemens Mittelviehhaus, YNCORIS GmbH & Co. KG
- Dr.-Ing. Jens Reichel, thyssenkrupp Steel Europe AG
- Dr.-Ing. Marcus Schnell, Belfor DeHaDe GmbH
- Prof. Dr.-Ing. Volker Stich, FIR e.V. an der RWTH Aachen
- Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser, Technische Universität
München
- Dr. Andreas Weber, Evonik Technology & Infrastructure GmbH

Autoren

- Fabian Förster, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und
Logistik IML
- Rebecca Rademacher, Fraunhofer-Institut für Materialfluss
und Logistik IML
- Michael Wolny, Fraunhofer-Institut für Materialfluss
und Logistik IML
- Frederick Birtel, FIR e.V. an der RWTH Aachen
- Florian Defèr, FIR e.V. an der RWTH Aachen

Projektkoordination

- Simone Hornung, acatech Geschäftsstelle
- Dr.-Ing. Christoph Vornholt, Fraunhofer-Institut für Material-
fluss und Logistik IML

Projektlaufzeit

08/2018–09/2019

Förderung

Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und
Energie (BMWi) gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

1 Einleitung

Im Jahr 2017 erzielte der neunfache Exportweltmeister¹ Deutschland 45,1 Prozent² seines gesamten Exportvolumens durch Investitionsgüter – dieser Warenabsatz im Gesamtwert von 576.554 Millionen Euro entsprach 17,59 Prozent des BIP.³ Bereits seit 1945 erzielt die deutsche Wirtschaft einen kontinuierlich wachsenden Exportüberschuss,⁴ hauptsächlich durch den Verkauf von Maschinen, Kraftwagen, mechanischen und elektrischen Geräten sowie Ausrüstungen.⁵ So ist es nur konsequent, dass die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech) die produzierende Industrie als das „Rückgrat der deutschen Wirtschaft“ bezeichnet.⁶ Und diese Industrie verändert sich: Mit *Industrie 4.0* beginnt weltweit ein neues industrielles Zeitalter.

Die Vision der Industrie 4.0 zeichnet sich durch eine starke Vernetzung von Maschinen und Anlagen sowie die Anwendung hochmoderner Automatisierungs-, Informations- und Kommunikationstechnik aus. Sämtliche Produkte, Werkstoffe, Produktionsanlagen, Logistiksysteme sowie Förder- und Lagersysteme und sogar Gebäude werden zunehmend mit eingebetteten Systemen ausgestattet, sodass cyber-physische Systeme (CPS) entstehen. Diese mit Sensoren und Aktoren ausgerüsteten Kleinstcomputer ermöglichen eine vollständige Vernetzung dieser Produktionselemente, die so zur Datenerfassung, -speicherung und -weitergabe befähigt werden. Das Ziel dieser teils disruptiven Veränderungen ist die *Smart Factory* – eine digital vernetzte Fabrik, die alle Elemente der Wertschöpfungskette umfasst und mittels deren Selbststeuerung und Interaktion die Basis für ganzheitlich ausgerichtete optimale Entscheidungen schafft.

2014 wurde Deutschland noch als internationaler Vorreiter auf dem Forschungsgebiet „Industrie 4.0“ eingestuft.⁷ Heute, nur fünf Jahre später, kommen Fachleute des VDE allerdings zu dem Ergebnis, dass Deutschland in Bezug auf die Umsetzung in den Unternehmen und den Forschungsstand zu Schlüsseltechnologien wie

Künstlicher Intelligenz weit hinter den Spitzenreitern USA und China zurückliegt.⁸ Die Zeit, den technologischen Rückstand wieder aufzuholen, ist knapp: Laut EFI gehen 77 Prozent der internationalen Fachleute davon aus, dass innerhalb der nächsten maximal zehn Jahre autonome Systeme in der industriellen Produktion volle Marktreife erreichen werden – 36 Prozent der Befragten prognostizieren die industrielle Anwendung dieser Systeme sogar bereits in spätestens fünf Jahren, das heißt für das Jahr 2023.⁹

Es besteht also dringender Handlungsbedarf. Denn für Deutschland als rohstoffarmen Hochlohnstandort sind die industrielle Produktion von hochtechnologischen Gütern und die Entwicklung von Produktinnovationen entscheidend für den Erhalt der Konkurrenzfähigkeit. Dementsprechend haben Experten der Plattform Industrie 4.0 das „Leitbild 2030 für Industrie 4.0“ entwickelt, dessen strategische Handlungsfelder Souveränität, Interoperabilität und Nachhaltigkeit für eine erfolgreiche Umsetzung von Industrie 4.0 fokussiert werden.¹⁰ Hier fungiert eine innovative und zukunftsfähige Instandhaltung im Sinne einer *Smart Maintenance* als Enabler, um die Funktionsfähigkeit sämtlicher Entitäten, die diese Vision schließlich repräsentieren, überhaupt erst sicherzustellen.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung hat die *Hightech-Strategie 2025* (HTS 2025) entwickelt und richtet dabei den Fokus auf den Bedarf des Menschen, Förderung neuer Technologien in der Industrie und Schaffung von Möglichkeiten zur Entwicklung akademischer Innovationen. Das Handlungsfeld *Wirtschaft 4.0* der HTS 2025 – definiert mit dem Ziel, die Industrie wettbewerbsfähig, sicher und nachhaltig zu gestalten – umfasst dabei hauptsächlich die Digitalisierung der Wertschöpfungsketten beziehungsweise -netzwerke im Sinne einer Kreislaufwirtschaft.¹¹ Als Querschnittsdisziplin ist dabei die Instandhaltung entlang des gesamten Wertschöpfungsprozesses für Planung, Organisation, Durchführung und Überwachung sämtlicher technischer und administrativer Abläufe zur Inspektion, Wartung, Instandsetzung und Verbesserung der Produktionsanlagen zuständig. Sie ist damit maßgeblich für den

1 | Vgl. ifo Institut 2019 und bpb 2018.

2 | Vgl. destatis 2018, S. 10.

3 | Vgl. destatis 2018, S. 10 und destatis 2017.

4 | Vgl. bpb 2018.

5 | Vgl. destatis 2018, S. 10.

6 | Vgl. acatech 2015, S. 11.

7 | Vgl. Adams et al. 2014, S. 8.

8 | Vgl. VDE 2019.

9 | Vgl. EFI 2018, S. 72.

10 | Vgl. Plattform Industrie 4.0/BMWi 2019a.

11 | Vgl. BMBF 2018a.

gesamten Erfolg der Smart Factory mitverantwortlich. Auch acatech kam zu dem Schluss, dass „durch eine unvorbereitete Instandhaltung [...] die Vision Industrie 4.0 langfristig zum Scheitern verurteilt“¹² ist. Aus diesem Grund soll die vorliegende acatech STUDIE einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der HTS 2025 leisten und einen Anreiz für Unternehmen schaffen, sich mit dem aktuellen Status quo ihrer Instandhaltung auseinanderzusetzen. Mithilfe ausgearbeiteter Maßnahmen und einer Roadmap sollen Unternehmen schließlich dahingehend befähigt werden, die Zielvision der zukünftigen Instandhaltung umsetzen zu können.

Die Zukunftsvision der Smart Factory kann nur dann realisiert werden, wenn auch die Instandhaltung dieser Vision gerecht wird und sich zur *Smart Maintenance* weiterentwickelt. Immerhin gilt es in erster Linie, bereits vorhandene Assets derart zu integrieren, dass diese dem Vernetzungsgedanken entsprechen. Durch Überwachung und Datenauswertung der Produktionsanlagen können Störfaktoren und Ausfälle antizipiert, vorausschauend Wartungen zu deren Vermeidung festgelegt und die Funktions- sowie Leistungsfähigkeit der Anlagen geschützt werden. Auf diese Weise kann die digitale Transformation in Richtung einer innovativen Smart Maintenance eingeleitet werden, um zukünftig der Vision einer instandhaltungsfreien Produktion gerecht werden zu können.

Doch nicht nur bereits bestehende Produktionsanlagen gilt es in Zukunft zu unterhalten: Durch die Vernetzung erhöht sich die Störanfälligkeit der Systeme, und auch vernetzte, intelligente Anlagen stehen still, wenn eine notwendige Instandhaltungsmaßnahme nicht rechtzeitig erkannt und durchgeführt wird. Denn die Einführung cyber-physischer Systeme wird auch die Anzahl instand zu haltender Elemente erhöhen und durch vernetzte Komponenten neue Anforderungen an das Personal stellen. Ein durch Automatisierung und Vernetzung von Produktionskomponenten mit CPS bedingter Komplexitätsanstieg muss

innerhalb der Smart Factory beherrschbar sein. Das setzt Verständnis, Kontrolle und Pflege des Systems und der zugehörigen Technologien voraus und liegt im Verantwortungsbereich der Smart Maintenance und ihrer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.

Neben diesen grundlegenden Anforderungen an den Erhalt der Produktionsfähigkeit bietet die Smart Maintenance auch soziale und wirtschaftliche Chancen zur industriellen Weiterentwicklung. Auch das wurde bereits durch acatech betont: „Hinter dem Attribut ‚Provided/Maintained in Germany‘ entsteht ein Service-Markt, auf dem sich die deutsche Industrie einen internationalen Wettbewerbsvorteil verschaffen kann.“¹³ Aufgrund der hohen Quote der Instandhaltung in Eigenleistung besteht in der deutschen Wirtschaft ein Wettbewerbsvorteil im Dienstleistungssektor der Instandhaltung, welchen es zu nutzen gilt. Außerdem bietet der Bereich der Instandhaltung aufgrund seiner tendenziell einmaligen Aufgaben wenig Potenzial für eine vollständige Automatisierung. Die Mitarbeiterschaft wird also auch in Zukunft für diesen Bereich eine wichtige Rolle spielen.

Um die eigene Instandhaltung vor diesen Aspekten realistisch beurteilen zu können und eine allgemeine Akzeptanz für Umbrüche im Unternehmen zu erreichen, wird zunächst der Status quo gegenwärtiger Bemühungen, eine innovative Instandhaltung umzusetzen, aufgezeigt. Die daraufhin definierte Zielvision einer Smart Maintenance wird dem gegenwärtigen Entwicklungsgrad schließlich gegenübergestellt, um anhand der aufgedeckten Diskrepanz den notwendigen Handlungsbedarf abzuleiten. Um einzelne Elemente bereits existierender innovativer Bemühungen zu veranschaulichen, werden begleitend aktuelle Best-Practice-Beispiele aufgezeigt. Die acatech STUDIE schließt mit einer Roadmap für eine strukturierte Einführung der empfohlenen Maßnahmen ab, damit Unternehmen befähigt werden, einen Grundstein für ihren zukünftigen Bestand zu legen und die Vision einer Smart Factory zu realisieren.

12 | acatech 2015, S. 8.

13 | acatech 2015, S. 8.



2 Zielsetzung und Methodik

Der logische Vorgänger dieser STUDIE ist die acatech POSITION „Smart Maintenance for Smart Factories“. Mit dem Bestreben, Politik, Industrie und wissenschaftliche Institutionen für das Thema zu sensibilisieren und Anstöße für das weitere Vorgehen zu geben, wurde in der acatech POSITION eine erste Vision der Smart Maintenance erarbeitet, die Notwendigkeit ihrer Umsetzung verdeutlicht sowie konkrete Handlungsempfehlungen an alle adressierte Personen formuliert. Eine dieser Handlungsempfehlungen fordert, dass eine „synchronisierte Erforschung der Smart Maintenance durch Wissenschaft und Wirtschaft“¹⁴ erfolgen solle. Das bedeutet, sich die verschiedenen Interessen der beiden Parteien zunutze zu machen und durch eine Kooperation die theoretisch bestmöglichen Lösungen zu finden sowie gleichzeitig anwendbar auszuarbeiten. Im Rahmen dieser STUDIE sollen die Interessen beider Parteien abgeglichen und in einer Roadmap zur Gestaltung der Smart Maintenance festgehalten werden.

Um die geforderte Kooperation zu realisieren, wurde eine Projektgruppe mit Vertreterinnen und Vertretern aus Wirtschaft und Wissenschaft gegründet. Diese Projektgruppe diente als Expertengremium, um in regelmäßigen Treffen und Workshops die Prozesse und Studienergebnisse zu begleiten, zu diskutieren und bei deren Erarbeitung zu helfen. Die Projektgruppe setzte sich aus wissenschaftlichen Vertreterinnen und Vertretern der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech), des Fraunhofer IML, des FIR an der RWTH Aachen, der TU München, der TU Dortmund, des Wirtschaftsverbands für Industrieservice e. V., des Fachverbands Dampfkessel, Behälter- und Rohrleitungsbau e. V. sowie der Fachhochschule Dortmund zusammen. Um die Perspektive der Wirtschaft angemessen zu berücksichtigen, gehörten zum anderen Vertreterinnen und Vertreter von Evonik Technology & Infrastructure, thyssenkrupp, Bilfinger, BELFOR DeHaDe, YNCORIS, James Hardie Europe, WVIS und Airbus der Projektgruppe an.

Das konkrete Ziel dieser STUDIE ist es, die Industrie zu befähigen, die Notwendigkeit einer nachhaltigen und innovativen Instandhaltung zu erkennen und ihre eigenen Interessen bezüglich einer zukunftsorientierten Instandhaltung zu verwirklichen. Es gilt, die Digitalisierung nicht als Selbstzweck, sondern

vielmehr als technologisches Erfordernis zu verstehen. Um diese Zielsetzung schlussendlich erreichen zu können, wurde angestrebt, die Lücke zwischen der gegenwärtigen Realität und dem durch die Industrie anvisierten Soll-Zustand zu schließen. Hier wurde der Fragestellung nachgegangen, wo die Industrie heute steht, was sie erreichen möchte und wie diese Zielvision zu realisieren ist.

Als Ausgangspunkt orientierten sich sämtliche Bestrebungen am konkreten Bedarf der Industrie entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Hierzu hat das Expertengremium eine Unternehmensbefragung ausgearbeitet, die sowohl gegenwärtige Bemühungen als auch die angestrebte Zukunftsvision abbildet. In diesem Zusammenhang wurden im Rahmen der Projektgruppentreffen Kernthemen identifiziert und entsprechende Schwerpunkte gesetzt. Anschließend wurde die Befragung online für Unternehmen bereitgestellt und publiziert. In einem Zeitraum von etwa zwei Monaten (Oktober bis Dezember 2018) nahmen insgesamt 96 Unternehmen, insbesondere aus den Bereichen Instandhaltungsdienstleistung und Maschinenbau, teil. Dank der Diversität der Befragten versteht sich die Auswertung der Ergebnisse als branchenunabhängig. Die gewonnenen Ergebnisse wurden anschließend mithilfe von Experteninterviews, gezielten Themenworkshops und durch die Projektgruppe validiert. Die ermittelten Aufgabenfelder sowie die Ergebnisse der Befragung sind in Kapitel 4 dargestellt.

Während durch die acatech POSITION Handlungsfelder aus Sicht von Politik, Wissenschaft und Wirtschaft definiert wurden, soll diese STUDIE ergänzend und konkretisierend Handlungsfelder der Smart Maintenance aus Sicht eines einzelnen Unternehmens abbilden. Hierzu wurden die bereits gewonnenen Erkenntnisse vor diesem Hintergrund hinterfragt, mit Ergebnissen aus Experteninterviews konsolidiert und abschließend mit der Projektgruppe diskutiert. Dabei wurde zwischen *Handlungsfeldern* und *Technologiebausteinen*, die als gestaltende Anwendung in den Handlungsfeldern Verwendung finden, unterschieden. Um im Rahmen der Ausführungen einen praktischen Bezug herzustellen, werden konkrete Umsetzungsmöglichkeiten in diesem Kapitel begleitend als Best Practices aufgeführt. Die Ergebnisse bezüglich einer Zielvision *Smart Maintenance* sind in Kapitel 5 dargestellt.

An dieser Stelle sei darauf verwiesen, dass im Rahmen der Identifikation von verschiedenen Technologiebausteinen Inkonsistenzen hinsichtlich der Einheitlichkeit zugrunde liegender Definitionen identifiziert wurden. Aus diesem Grund wurde die Notwendigkeit

14 | acatech 2015, S. 44.

einer Vereinheitlichung der Begrifflichkeiten betont, die während des Projektverlaufs vorgenommen wurde. Hierzu wurden wichtige Begriffe gesammelt und in einem Glossar einheitlich definiert. Sofern keine eindeutige Definition vorlag, wurde in der Projektgruppe ein entsprechender Definitionsvorschlag erarbeitet und für diese STUDIE als gültig betrachtet. Die einzelnen Begrifflichkeiten sind im dritten Kapitel in einem Glossar aufbereitet.

Die Bausteine wurden nun hinsichtlich ihres gegenwärtigen Reifegrads sowie ihrer Bedeutung für die Realisierung einer Smart Maintenance bewertet. Die Bewertung erfolgte durch die Projektgruppe, deren Input sowohl in Form eines Workshops als auch im Rahmen einer schriftlichen Nachbereitung konsolidiert wurde. Neben der Bewertung erfolgte eine Zuordnung der Technologiebausteine hinsichtlich ihres Beitrags zu den definierten Handlungsfeldern. Um die beschriebenen Handlungsfelder zukunftsfähig auszugestalten und weiterzuentwickeln, sind die genannten Bausteine als Schlüsseltechnologien zu verstehen. Im Rahmen des Vorhabens stellen diese Erkenntnisse die Grundlage für die Ausgestaltung einer Roadmap als zentrales Projektziel dar.

Durch die gezielte Gegenüberstellung von Status quo und Zielvision im Sinne eines „Vorher-Nachher-Vergleichs“ konnte der bestehende Handlungsbedarf schließlich identifiziert und durch eine Roadmap ausgestaltet werden. Im Rahmen einer kooperativen Zusammenarbeit des Fraunhofer IML und des FIR an der RWTH Aachen wurden die so gewonnenen Erkenntnisse anschaulich aufbereitet. Der zuvor abgeleitete Bedarf beschränkt den sinnvollen Fokus auf diejenigen Bereiche, die das größte Potenzial zum Schließen der ermittelten Lücke bieten. Innerhalb dieses Handlungsrahmens wurden konkrete Maßnahmen identifiziert. Es wurde analysiert, wie durch technologische Ausgestaltung der Instandhaltung sowie gezielte Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter eine langfristig sinnvolle Umsetzung der Smart Maintenance gelingen kann. Als finales Ergebnis konnten die zuvor definierten Maßnahmen in einer geeigneten Chronologie strukturiert werden. In Form eines systematischen Leitfadens kann die STUDIE *Smart Maintenance – Der Weg vom Status quo zur Zielvision* abgeschlossen und die Industrie hinsichtlich ihrer eigenen Vision angeleitet werden, wie diese zukünftig realisiert werden kann.



3 Definition und Abgrenzung relevanter Begrifflichkeiten

Die Transformation der Instandhaltung zu einer *Smart Maintenance* hat auch Auswirkungen auf die in der Praxis verwendeten Begrifflichkeiten. Daher sind diese Begrifflichkeiten zunächst hinsichtlich ihrer Relevanz für eine Industrie 4.0 zu diskutieren und im Rahmen dieser STUDIE zu definieren.

Die folgende Übersicht zeigt die aus Sicht der Projektgruppe relevanten Begriffe. Hier sind bereits existierende Definitionen von denen zu unterscheiden, für die erst durch die Übereinkunft des Projektteams ein einheitliches Verständnis geschaffen werden konnte.

Begriff	Definitionen
Digitalisierung	<p>Für diesen Begriff sind mehrere Definitionen verfügbar:</p> <p>Dr.-Ing. Hippmann (Fraunhofer-Gesellschaft München):¹⁵</p> <ul style="list-style-type: none"> „Prinzipiell bedeutet ‚Digitalisierung‘ die binäre Repräsentation von Texten, Bildern, Tönen, Filmen sowie Eigenschaften physischer Objekte in Form von aneinandergereihten Sequenzen aus „1“ und „0“, die von heutigen Computern mit extrem hoher Geschwindigkeit – Milliarden von Befehlen pro Sekunde – verarbeitet werden können.“ <p>Wolf/Strohschen:¹⁶</p> <ul style="list-style-type: none"> „Wir sprechen von Digitalisierung, wenn analoge Leistungserbringung durch Leistungserbringung in einem digitalen, computerhandhabbaren Modell ganz oder teilweise ersetzt wird.“ <p>Kofler:¹⁷</p> <ul style="list-style-type: none"> „Der Begriff der Digitalisierung beschreibt das Überführen des Analogens ins Digitale (z. B. das Scannen eines analogen Dokuments in elektronisch verarbeitbare diskrete Signale). Im Hinblick auf ein Unternehmen können wir daher im übertragenen Sinn davon sprechen, das analoge Unternehmen in ein digitales Unternehmen zu überführen. Diesen Überführungsprozess nennen wir auch die digitale Transformation des Unternehmens. Die Digitalisierung wird auch als digitaler Wandel verstanden und ist damit zu begründen, dass der Einsatz von digitalen Technologien dazu führt, dass sich Menschen an sich verändern.“ <p>Hess:¹⁸</p> <ul style="list-style-type: none"> „‚Digitalisierung‘ beschreibt die Einführung neuer, auf digitalen Technologien basierender Lösungen. [...] Einen Schritt weiter geht der Begriff der ‚digitalen Transformation‘. Dieser Begriff betont stärker den durch digitale Technologien hervorgerufenen Wandel. Er akzentuiert die Einführung einer fachlichen Lösung [...], betont dabei aber auch die treibende Rolle neuer digitaler Technologien.“ <p>Im Folgenden wird die Definition für Digitalisierung und digitale Transformation nach Kofler genutzt.</p>
Industrie 4.0	<p>Es handelt sich hierbei um die vierte Entwicklungsstufe der Industrie:¹⁹</p> <ul style="list-style-type: none"> Industrie 1.0: Entwicklung der Industrie (Massenproduktion durch Maschinen) Industrie 2.0: Vereinfachung der Prozesse (Akkord und Fließband) Industrie 3.0: Automatisierung durch Elektronik und IT Industrie 4.0: Digitalisierung früherer analoger Techniken und Integration cyber-physischer Systeme (Autonomisierung) <p>Es gibt für diesen Begriff keine eindeutige wissenschaftliche Definition. Aus diesem Grund wird im Folgenden die Definition der Plattform Industrie 4.0 unter der Leitung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie genutzt:²⁰</p> <p>„Industrie 4.0 bezeichnet die intelligente Vernetzung von Maschinen und Abläufen in der Industrie mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnologie.“</p>

15 | Hippmann et al. 2018, S. 53 ff.
 16 | Wolf/Strohschen 2018, S. 58.
 17 | Kofler 2018, S. 54.
 18 | Hess 2019, S. 18.
 19 | Vgl. Reinheimer 2017, S. 17-20.
 20 | Plattform Industrie 4.0/BMWi 2019b.

Begriff	Definitionen
Smart Maintenance	<p>Es gibt bisher keine eindeutige wissenschaftliche Definition. Im Folgenden wird dieser Begriff aus diesem Grund folgendermaßen definiert:</p> <p><i>„Smart Maintenance bezeichnet eine lernorientierte, selbstregulierte, intelligente Instandhaltung mit dem Ziel, die technische und ökonomische Wirksamkeit von Instandhaltungsmaßnahmen unter Berücksichtigung des jeweiligen vorhandenen Produktionssystems durch die Nutzung digitaler Anwendungen zu maximieren.“</i></p>
Predictive Maintenance	<p>Entwicklung der Instandhaltungsstrategien:²¹</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reaktive Instandhaltung: Keine Erfassung von Daten, Einleitung von Maßnahmen nach Anlagenausfall ▪ Präventive Instandhaltung: Erfassung von Historiendaten zur Ermittlung von zeitlichen Abständen zur Einleitung von Maßnahmen ▪ Zustandsabhängige Instandhaltung: Überwachung einzelner Maschinenkomponenten, Zustandsbewertung der Gesamtanlage (Diagnose) als Einleitung von Maßnahmen <p>DIN EN 13306 „Instandhaltung – Begriffe der Instandhaltung“:²²</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Zustandsorientierte Instandhaltung: <i>„Instandhaltung, die nach einer Vorhersage, abgeleitet von wiederholter Analyse oder bekannten Eigenschaften und Bestimmung von wichtigen Parametern, welche den Abbau der Einheit kennzeichnen, durchgeführt wird.“</i>
Condition Monitoring	<p>Entwicklung der Datennutzung in der Instandhaltung:²³</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Anfangssituation: Instandsetzung einer Anlage bei Ausfall ▪ Weiterentwicklung der Instandhaltung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ziel: Zustandsüberwachung von Maschinen ▪ Stufe 1: Sequenzielle Erfassung und Abspeicherung in Steuereinheiten ▪ Stufe 2: Nutzung von Live-Daten (Sensordaten) ▪ Ergebnis: Autonom reagierendes Sicherheitssystem <p>DIN EN 13306:2018-02:²⁴</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Condition Monitoring: <i>„Manuell oder automatisch ausgeführte Tätigkeit zur Messung der Merkmale und Parameter des Ist-Zustands einer Einheit in bestimmten Zeitabständen.“</i>
Biologische Transformation	<p>Vorstufe zur biologischen Transformation ist die Bionik. DIN ISO 18458:2016-08 „Bionik – Terminologie, Konzepte und Methodik“</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bionik: <i>„Interdisziplinäre Zusammenarbeit von Biologie und Technik oder anderen innovativen Bereichen, um praktische Probleme zu lösen, durch die funktionale Analyse biologischer Systeme, ihrer Abstraktion zu Modellen und der Übertragung und Anwendung dieser Modelle auf die Lösung.“</i> <p>Für diesen Begriff gibt es bisher keine eindeutige wissenschaftliche Definition. Im allgemeinen Sprachgebrauch wird biologische Transformation mit Bioökonomie gleichgesetzt, was dem Umfang der biologischen Transformation jedoch nicht gerecht wird. Folgende Definitionen werden hierfür genutzt:</p> <p>Bioökonomierat:²⁵</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>„Die Bioökonomie ist die wissenschaftsbasierte Erzeugung und Nutzung biologischer Ressourcen, um Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren im Rahmen eines zukunftsfähigen Wirtschaftssystems bereitzustellen.“</i> <p>Bundesministerium für Bildung und Forschung:²⁶</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>„Bioökonomie ist die wissenschaftsbasierte Erzeugung und Nutzung nachwachsender Ressourcen, um Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren im Rahmen eines zukunftsfähigen Wirtschaftssystems bereitzustellen. Das Konzept Bioökonomie umfasst alle Wirtschaftssektoren und zugehörige Dienstleistungsbereiche, die nachwachsende Ressourcen wie Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen und deren Produkte erzeugen, be- und verarbeiten, nutzen und damit handeln. Synonym: biobasierte Wirtschaft.“</i> <p>Im Folgenden wird die Definition der Fraunhofer-Gesellschaft genutzt und synonym mit dem Begriff „Biologisierung“ verwendet:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>„[Biologische Transformation ist der] Prozess der Wandlung der industriellen Wertschöpfung zum Zweck der Lösung essentieller Herausforderungen auf makro- und mikroökonomischer Ebene; Unterscheidung von drei Entwicklungsmodi: Inspirieren, Integrieren und Interagieren. Fokus auf Wertschöpfungssystemebene (Produkt, Technologie, Unternehmen, Netzwerk, Organisation, Personal).“</i>²⁷

21 | Vgl. Reichel et al. 2018, S. 353.

22 | DIN EN 2018.

23 | Vgl. Beebe 2004, S. 4 ff.

24 | DIN EN 2018.

25 | Bioökonomie 2019.

26 | BMBF/BMEL 2014.

27 | Bauernhansl et al. 2019, S. 92.



Begriff	Definitionen
Wissensmanagement	<p>Entwicklung:²⁸</p> <ul style="list-style-type: none"> Ab dem 18. Jahrhundert: Nutzung von Wissen bezüglich der Produktentwicklung und Fertigungsplanung 19. Jahrhundert: Entwicklung der wissenschaftlichen Betriebsführung durch Taylor Mitte des 20. Jahrhunderts: Differenzierung der Verbalisierbarkeit des Wissens (Polanyi); Unterscheidung zwischen implizitem und explizitem Wissen 1970er Jahre: Möglichst schnelle und umfangreiche Versorgung der Entscheidungsträger im Unternehmen mit notwendigen (elektronischen) Daten 1990er Jahre: Wissen als wettbewerbsentscheidende Ressource; Verbindung der Faktoren Technik, Mensch und Organisation 2000er Jahre: Gemeinsame Technik- und Humanorientierung; Wissen als Wertschöpfungsfaktor <p>ISO 30400:2016:²⁹</p> <ul style="list-style-type: none"> Knowledge Management: „<i>Combination of processes, actions, methodologies and solutions that enable the creation, maintenance, distribution and access to organizational knowledge.</i>“
Künstliche Intelligenz	<p>Entwicklungsstufen/Weiterentwicklung der Künstlichen Intelligenz:³⁰</p> <ul style="list-style-type: none"> Erste Entwicklung in Spielen und mathematischen Repräsentationssystemen von Wissen und Entscheidungen Ende des 20. Jahrhunderts: Konkrete Entwicklungen mit dem Ziel des Maschinellen Lernens (Machine Learning) Aktuell: Entwicklung des Deep Learning mit großen Erfolgen, dadurch starkes Interesse an Künstlicher Intelligenz <p>Es gibt mehrere offizielle Definitionen in ISO/IEC 2382:2015:³¹</p> <ul style="list-style-type: none"> Artificial Intelligence: „<i>Branch of computer science devoted to developing data processing systems that perform functions normally associated with human intelligence, such as reasoning, learning, and selfimprovement.</i>“ Artificial Intelligence: „<i>Interdisciplinary field, usually regarded as a branch of computer science, dealing with models and systems for the performance of functions generally associated with human intelligence, such as reasoning and learning.</i>“ Artificial Intelligence: „<i>Capability of a functional unit to perform functions that are generally associated with human intelligence such as reasoning and learning.</i>“ <p>Im Folgenden soll die nachstehende Definition genutzt werden: <i>„Künstliche Intelligenz umfasst einen Bereich der Informatik, der sich mit der Entwicklung von Datenverarbeitungssystemen beschäftigt, welche Funktionen erfüllen, die in der Regel mit der menschlichen Intelligenz (Denken, Lernen und Selbstverbesserung) in Verbindung stehen.“</i></p>
Maschinelles Lernen	<p>Ursprünge des Maschinellen Lernens in Methoden der Statistik und KI:³²</p> <ul style="list-style-type: none"> 1940er Jahre: Entstehung erster Konzepte von Künstlichen Neuronalen Netzen 1950er Jahre: Erste Implementierungen der entwickelten Konzepte (KNN) 1980er Jahre: Konzentration der Forschung auf symbolische Expertensysteme 1990er Jahre: Praktische Anwendungen durch Stützvektormaschinen (SVM) 2000er Jahre: Popularitätsgewinn des Maschinellen Lernens („Revival“ der Neuronalen Netze); Verarbeitung der Kernel-Methoden des Maschinellen Lernens Aktuell: Existenz einer Vielzahl von Modelltypen und Lernverfahren beziehungsweise Lernalgorithmen <p>ISO/IEC 2382:2015:³³</p> <p>Machine Learning/Automatic Learning: „<i>Process by which a functional unit improves its performance by acquiring new knowledge or skills, or by reorganizing existing knowledge or skills.</i>“</p>
Augmented Reality	<p>ISO/IEC 18039:2019:³⁴</p> <p>Augmented Reality: „<i>Type of mixed reality system in which virtual world data are embedded and/or registered with the representation of physical world data.</i>“</p>
Virtual Reality	<p>Brockhaus (1997):³⁵</p> <ul style="list-style-type: none"> „<i>Virtuelle Realität ist eine mittels Computer simulierte Wirklichkeit oder künstliche Welt, in die Personen mit Hilfe technischer Geräte sowie umfangreicher Software versetzt und interaktiv eingebunden werden.</i>“

28 | Vgl. Rathswohl 2014, S. 50-53.

29 | ISO 30400:2016.

30 | Vgl. Kirste/Schürholz 2019, S. 20 f.

31 | ISO/IEC 2382:2015.

32 | Vgl. Döbel et al. 2018, S. 8-10.

33 | ISO/IEC 2382:2015.

34 | ISO/IEC 18039:2019.

35 | Brockhaus 1997.

Begriff	Definitionen
Blockchain-Technologie	<p>Entwicklung der Technologie fand bisher in drei Phasen statt:³⁶</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ „Blockchain 1.0“: Cryptowährungen ▪ „Blockchain 2.0“: Smart Contracts ▪ „Blockchain 3.0“: Weiterentwicklung der Smart Contracts zu dezentralen autonomen Organisationseinheiten; Fokus: hoher Autonomiegrad ▪ Aktuell: Erschließung neuer Anwendungsfelder und Umsetzungsmöglichkeiten <p>Die ISO-Norm ISO/TC 307 zur Blockchain-Technologie ist derzeit in Arbeit. Aktuell ist keine eindeutige wissenschaftliche Definition verfügbar.</p> <p>Dementsprechend soll der Begriff nach eigener Definition folgendermaßen definiert sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ „Die Blockchain ist ein dezentraler, verteilter, manipulationssicherer, kooperativ genutzter Datenspeicher und ermöglicht den sicheren Datenaustausch in Netzwerken ohne Intermediär.“
Digitaler Zwilling	<p>Zu diesem Terminus existieren mehrere Definitionen:</p> <p>Schröder in Anlehnung an Lee (2008) und Baheti/Gill (2011):³⁷</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ „The digital twin is connected with the physical part in some way for allowing the data transfer from the physical to the cyberpart. Since the CPS can be described as a set of physical devices, objects and equipments that interact with a virtual cyberspace through a communication network, the cyber model of each physical entity can be seen as a digital representation of the real entity, called ‚Digital Twin‘.“ <p>Schröder in Anlehnung an Grieves (2014):³⁸</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ „The Digital Twin is a distributed and decentralized approach to manage product information at product item level along its lifecycle.“ <p>Aktuell wird außerdem innerhalb des VDE/VDK-Projekts „Digitaler Zwilling“ eine erste maschinenverständliche Norm erstellt. Im Folgenden soll diese Definition gelten:</p> <p>„Der digitale Schatten/Zwilling bezeichnet die digitale Darstellung einer realen Entität.“</p>
Cloud	<p>ISO/IEC 17788:2014:³⁹</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Private Cloud: „Cloud deployment model where cloud services are used exclusively by a single cloud service customer and resources are controlled by that cloud service customer.“ ▪ Public Cloud: „Cloud deployment model where cloud services are potentially available to any cloud service customer and resources are controlled by the cloud service provider.“
Cloud- und Webservices	<p>Entwicklungsstufen:⁴⁰</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Grid Computing ▪ Network Computing ▪ Utility Computing ▪ Application Service Providing ▪ Cloud Computing ▪ Schaffung einer Plattformebene für Daten <p>ISO/IEC 17788:2014:⁴¹</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cloud Computing: „Paradigm for enabling network access to a scalable and elastic pool of shareable physical or virtual resources with selfservice provisioning and administration on-demand.“ ▪ Cloud Service: „One or more capabilities offered via cloud computing invoked using a defined interface.“
Additive Fertigungsverfahren	<p>ISO/ASTM DIS 52900:2018:⁴²</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Additive Manufacturing: „Process of joining materials to make parts from 3D model data, usually layer upon layer, as opposed to subtractive manufacturing and formative manufacturing methodologies.“ <p>Außerdem ist aktuell eine DIN-Norm in Arbeit (Fachbereich NA 145-04 – Additive Fertigungsverfahren).</p>

36 | Vgl. Fridgen et al. 2017, S. 53 ff.

37 | Schröder et al. 2016, S. 12.

38 | Schröder et al. 2016, S. 12.

39 | ISO/IEC 17788:2014.

40 | Vgl. Pelzl et al. 2016, S. 75 ff.

41 | ISO/IEC 17788:2014.

42 | ISO/ASTM DIS 52900:2018.



4 Beschreibung des Status quo

Um eine Roadmap zu gestalten, die die Bedürfnisse der wirtschaftlichen Akteure berücksichtigt, wurde mithilfe einer Unternehmensbefragung die gegenwärtige Situation industrieller Unternehmen ermittelt. Hierzu wurden anhand einer anonymisierten Onlinebefragung, zu deren Zweck ein Fragebogen in der Projektgruppe erstellt wurde, insgesamt 96 Teilnehmende aus 14 verschiedenen Branchen befragt. Mittels der Befragung sollten Erkenntnisse zur aktuellen Gestaltung der Arbeitsbereiche der Instandhaltung und zu den angestrebten Veränderungen in Bezug auf eine smarte Instandhaltung innerhalb der Unternehmen gewonnen werden. Insbesondere Unternehmen aus dem Dienstleistungsbereich für Instandhaltung (15 Prozent), dem Maschinenbau (14 Prozent) sowie der Metallerzeugung (12 Prozent) waren dabei vertreten. Außerdem ist etwa die Hälfte der befragten Unternehmen dem klassisch produzierenden Gewerbe zuzuordnen, die demnach eine eigene Instandhaltung für die Produktionsanlagen verfolgen.

Der Teil des Fragebogens, der auf den Status quo der Instandhaltung in der Entwicklung zur Smart Maintenance abzielt, wurde aufbauend auf den abschließenden Erkenntnissen des Positionspapiers erstellt. Innerhalb der POSITION wurden folgende **Kernelemente** festgehalten, die zukünftig eine Smart Maintenance charakterisieren sollen:

1. Begeisterter Nachwuchs für die Instandhaltung ist vorhanden.
2. Eine neue Instandhaltungsforschungslandschaft ist entstanden.
3. Die Instandhaltung ist Veränderungstreiber neuer Geschäftsmodelle in der Industrie.
4. Standards und Normen der Smart Maintenance vereinfachen die Abläufe in der Industrie.
5. Die Instandhaltung gewährleistet die Beherrschbarkeit der Smart Factory.
6. Wissensmanagement ermöglicht die Kompatibilität der Industrie 4.0 mit dem Menschen.⁴³

Diese sechs Kernelemente sind entscheidende Faktoren bei der Entwicklung der Instandhaltung zur Smart Maintenance. Sie und die mit ihnen verbundene Zielvision beschreiben die Kategorien

von Handlungsempfehlungen, die gemeinschaftlich durch Politik, Wirtschaft und Wissenschaft umzusetzen sind. Um die Aspekte, die für die Industrie relevant sind, näher zu beleuchten, wurden die jeweiligen wirtschaftlichen Facetten dieser sechs Kernelemente ermittelt und anschließend mit den Arbeitsbereichen der heutigen Instandhaltung zusammengeführt. Die daraus entwickelten sechs **Themenbereiche des Status quo** wurden durch die Unternehmensbefragung näher beleuchtet:

- Instandhaltungsstrategien
- Wissensmanagement
- Assistenzsysteme
- Ersatzteilmanagement
- Kompetenzentwicklung
- Ökonomische Sicht

Diese Themenbereiche bilden alle relevanten Arbeitsbereiche der klassischen Instandhaltung sowie notwendige Elemente zur Umsetzung der Smart Maintenance ab. So konnte anhand der Umfrageergebnisse ermittelt werden, wie stark die Umsetzung von Smart Maintenance bereits verfolgt wird beziehungsweise wie weit fortgeschritten der Umsetzungsgrad einer Zielvision bereits ist. Inwieweit die Kernelemente in diesen Themenbereichen wiederzufinden sind und welche Aspekte bei der Unternehmensbefragung besonders im Vordergrund standen, wird nachfolgend erläutert.

Aufgrund ihres direkten Einflusses auf die Betriebsfähigkeit der Anlagen trägt die Instandhaltung zu großen Teilen zum Unternehmenserfolg bei. Gleichzeitig gehören die Instandhaltungskosten zu den strategisch beeinflussbaren Betriebskosten.⁴⁴ Eine klare, verständliche Strategie ist daher unerlässlich. „Fehlen klare strategische Leitplanken, so wird der Instandhalter mehr Aufwand betreiben, als für die wirtschaftlich erforderliche Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der Anlagen notwendig ist.“⁴⁵ Zum Themenbereich **Instandhaltungsstrategien** zählen aus diesem Grund Aspekte gleich mehrerer Kernelemente der acatech POSITION, die die strategische Ausrichtung der Instandhaltung hin zu einer vorausschauenden, wertorientierten Instandhaltung beeinflussen. Im Wesentlichen werden hier das dritte und fünfte Kernelement adressiert, in denen von der Entwicklung neuer Geschäftsmodelle im Bereich Instandhaltung sowie der gesamten Zukunftsvision einer Smart Factory als Unternehmensstrategie die Rede ist. So soll die strategische Ausrichtung zur Smart Maintenance einerseits dazu genutzt werden, den Veränderungsprozess der Branche

43 | Vgl. acatech 2015, S. 37 ff.

44 | Vgl. Leidinger 2014, S. 12.

45 | Leidinger 2014, S. 13.

Instandhaltung nachhaltig zu gestalten; andererseits soll sie dazu dienen, die für das eigene Unternehmen essenziellen Grundlagen einer Smart Factory zu schaffen sowie technologische Umsetzungen effizient zu nutzen und weiterzuentwickeln. So müssen geeignete Instandhaltungsstrategien identifiziert werden, um die grundlegende Ausrichtung von Instandhaltung und auch Produktion hin zu einer zustandsorientierten Planung vorzugeben. Auch wird aus dem vierten Kernelement der Aspekt berücksichtigt, dass ganzheitliche Lösungen für das gesamte Unternehmen gefunden werden müssen. Durch diese umfassende Betrachtungsweise und die technologische Unterstützung wird das Aufgabenspektrum von Instandhaltung im Sinne einer Smart Maintenance außerdem an Komplexität gewinnen. „[Eine geeignete Instandhaltungsstrategie] stellt [hier] ein Werkzeug dar, mit dem es möglich ist, hochkomplizierte Produktionssysteme auf eine für Menschen verständliche Ebene zu reduzieren.“⁴⁶

Bei diesem Anstieg an Komplexität werden sowohl digitale als auch technische Kompetenzen bei der Transformation zur Smart Maintenance eine wesentliche Rolle spielen. „[Außerdem] vollzieht sich ein struktureller Wandel von arbeitsintensiven zu wissensintensiven Geschäftsfeldern.“⁴⁷ Diese neuen Aufgaben verlangen hochqualifizierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, deren Kompetenzen hauptsächlich durch kreative und improvisatorische Fähigkeiten geprägt sind.⁴⁸ Um diese Kompetenzen ebenso wie Fachwissen nachhaltig im Unternehmen zu bewahren, weiterzugeben und in angemessener Geschwindigkeit erweitern zu können, ist ein Unternehmen außerdem auf ein sinnvolles **Wissensmanagement** angewiesen. Insbesondere das sechste Kernelement soll in diesem Bereich beleuchtet werden. Dieses betrifft den Erhalt des individuellen Wissens der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, welches durch das Bewältigen einmaliger Aufgaben, die nicht durch standardisierte Prozesse lösbar sind, aufgebaut wird. Denn insbesondere dieses Wissen soll für alle und zu jeder Zeit verfügbar sein und ist durch die nicht standardisierte Aufgabenbewältigung nicht künstlich zu generieren.

Das sechste Kernelement bezieht sich weiterhin auf den gezielten Kompetenzaufbau des bestehenden Personals, um dieses auf die technologischen Veränderungen vorzubereiten. Neben dem Kompetenzaufbau der aktuellen Belegschaft bezieht sich

außerdem das erste Kernelement auf das Recruiting und die Ausbildung von neuem Instandhaltungspersonal. Auch die Schnelligkeit der Veränderungen, die zukünftig weiter bestehen und eher noch zunehmen wird, verlangt eine bereichsübergreifende anstelle einer spezialisierenden Ausbildung, die es der Mitarbeiterschaft erlaubt, sich verändernden Anforderungen anzupassen und Veränderungen voranzutreiben.⁴⁹ Diese Aspekte wurden in dem Themenbereich **Kompetenzentwicklung** zusammengefasst. So können die Bewältigung der aktuellen Herausforderung Digitalisierung und das Arbeiten in der Industrie 4.0 für erfahrene Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und in der Ausbildung gesondert analysiert werden. Denn die Herausforderung, den Spagat zwischen digitalen und analogen Instandhaltungsaufgaben und Kompetenzen zu schaffen, besteht hier nicht zwingend in der Organisation der Kompetenzentwicklung, welche ein klarer Bestandteil des Wissensmanagements ist. Die Herausforderung liegt vielmehr in der inhaltlichen Ausgestaltung und der Erkenntnis, dass neue Schwerpunkte in der Entwicklung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter gesetzt werden müssen, wenn sich die Unternehmensstrukturen so grundlegend verändern.

In der Smart Factory spielt auch die technologische Unterstützung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter eine wichtige Rolle: **Assistenzsysteme** kompensieren mangelndes Erfahrungs- und Expertenwissen durch Datenabruf zu jeder Zeit an jedem Ort, verschaffen einen Überblick über die Komplexität der Anlagen und ermöglichen gleichzeitig eine geeignete softwarebasierte Dokumentation und Auswertung der Daten.⁵⁰ Eine adäquate Erfassung von und der richtige Umgang mit Daten sind essenziell, soll in einem Unternehmen ein zustandsorientiertes System implementiert werden. Da die Nutzung solcher Systeme in der Zukunftsvision elementar ist, soll hier auch untersucht werden, ob aktuell verfügbare Lösungen bereits von Unternehmen als Unterstützung integriert werden.

Das **Ersatzteilmanagement** stellt neben den eigentlichen Instandhaltungsmaßnahmen eine Grundlage der Instandhaltung dar. Ohne verfügbare Materialien kann das Personal seinen Aufgaben nicht nachkommen. Noch dazu entscheidet das Ersatzteilmanagement über einen Großteil der anfallenden Kosten durch Einkauf, Lagerung oder auch längere Ausfallzeiten, sollte ein Ersatzteil nicht verfügbar sein. Denn die zunehmende Verflechtung aller Betriebsmittel und -anlagen hat immer

46 | Reichel et al. 2018, S. 359.

47 | North 2016, S. 1.

48 | Vgl. Reichel et al. 2018, S. 358.

49 | Vgl. Reichel et al. 2018, S. 174.

50 | Vgl. acatech 2015, S. 22 ff.



weitreichendere Folgen im Falle eines Ausfalls.⁵¹ Außerdem ist gerade in diesem Bereich die Erhebung relevanter Daten sehr unterschiedlich im Vergleich zu den restlichen Produktionsanlagen,⁵² die für die Smart Factory ohnehin miteinander vernetzt werden. Auch eine geeignete Analyse dieser Daten muss also berücksichtigt werden.

Nicht zuletzt ist auch die **ökonomische Sicht** auf die Instandhaltung von wesentlicher Bedeutung. Investitionen entscheiden über die Möglichkeiten der Weiterentwicklung und Optimierung der Instandhaltung – die Budgetplanung und die in diesem Zusammenhang erforderliche Erhebung und Bewertung von Kennzahlen sollten demnach ebenso wenig unterschätzt werden. Außerdem bilden gerade diese Kennzahlen die Grundlage für eine Bewertung der einzelnen Maßnahmen zur Entwicklung einer Smart Maintenance, um nachvollziehbare und begründete strategische Entscheidungen treffen zu können.⁵³ Dieses Handlungsfeld spielt somit in alle Kernelemente hinein, da für jedes dieser Elemente Maßnahmen getroffen werden müssen, die es zu bewerten und zu kontrollieren gilt. Es soll somit untersucht werden, ob die befragten Unternehmen in der Lage sind, diese Kernelemente umfassend zu bewerten, und inwieweit auch die Bereitschaft vorhanden ist, in die Instandhaltung und die Entwicklung der Smart Maintenance zu investieren.

Es gilt nun, diese Bereiche nach ihrem aktuellen Stand abzubilden, um im weiteren Verlauf bisherige Entwicklungen darlegen und nötige Schritte zur Realisierung der Smart Maintenance ableiten zu können.

4.1 Instandhaltungsstrategien

Die konventionelle Instandhaltungsplanung ist hauptsächlich reaktiv oder zyklisch präventiv ausgelegt. Das bedeutet, dass nach Maschinenausfällen oder in einem regelmäßigen Turnus Maschinen gewartet werden. Neben diesen klassischen Strategien wird in Zukunft hauptsächlich die Strategie der vorausschauenden Instandhaltung, der Predictive Maintenance, eine wesentliche Rolle spielen.⁵⁴ Im Rahmen dieser Strategie werden auf Basis von

Echtzeitdaten im Vergleich zu Historiendaten Vorhersagen zu Ausfällen und Verschleiß von Anlagen getroffen, anhand derer Wartungsmaßnahmen geplant werden.

Um hier den Status quo der strategischen Planung in der Instandhaltung abzubilden, wurde im Rahmen der Unternehmensbefragung die Entscheidungsgrundlage zur Einleitung von Wartungsmaßnahmen abgefragt. Dabei werden innerhalb der befragten Unternehmen aktuell meist mehrere Datensätze oder Kriterien zur Wartung und Instandhaltung genutzt. Die Datennutzung lässt folgende Rückschlüsse auf die Instandhaltungsstrategie zu:

- Reaktive Instandhaltung: Wartung nach Ausfall
- Präventive Instandhaltung: Wartung nach Historiendaten
- Vorausschauende Instandhaltung: Wartung nach Echtzeitdaten⁵⁵

Da für unterschiedliche Instandhaltungsstrategien unterschiedliche Entscheidungsgrundlagen notwendig sind, kann man anhand der verfügbaren und genutzten Daten indirekt ableiten, welche Instandhaltungsstrategie überwiegend genutzt wird beziehungsweise welche von den Unternehmen überhaupt verfolgt werden kann. Eine reaktive Instandhaltung benötigt keinerlei Daten, wohingegen für vorausschauende Wartung Historiendaten und Echtzeitdaten erforderlich sind.

In Abbildung 1 ist aufgeschlüsselt, zu welchem Anteil die Unternehmen welche Daten überwiegend als Entscheidungsgrundlage nutzen, um Maßnahmen zur Instandsetzung zu planen. Entsprechend verfolgen aktuell etwa 57 Prozent der befragten Unternehmen eine eher reaktive Instandhaltungsstrategie, 39 Prozent bedienen sich hauptsächlich der präventiven Instandhaltung, und lediglich etwa vier Prozent nutzen eine eher vorausschauende Instandhaltungsstrategie. Außerdem wurde deutlich, dass über diese Fragestellung hinaus bisher nur 14 Prozent der Unternehmen die Ausrichtung zur Predictive Maintenance als strategisches Kernthema auffassen. Insgesamt 51 Prozent der befragten Unternehmen haben bislang kein Konzept dieser Strategie in einer Testphase erprobt oder umgesetzt.

51 | Vgl. Biedermann 2008, S. 1.

52 | Vgl. Biedermann 2008, S. 59 ff.

53 | Vgl. Leidinger 2014, S. 9.

54 | Vgl. Schuh et al. 2007.

55 | Vgl. Leidinger 2014, S. 16 ff.

Auf welcher Datengrundlage werden Instandhaltungsmaßnahmen eingeleitet?

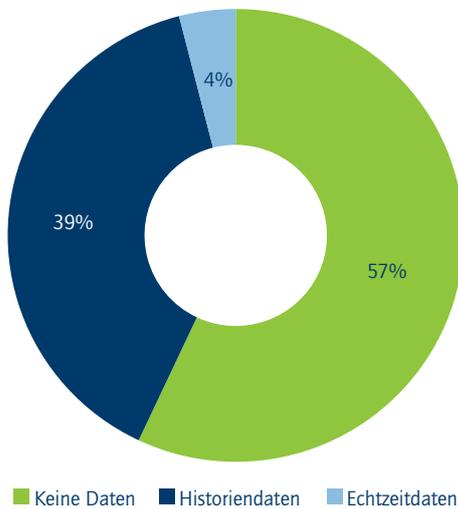


Abbildung 1: Datengrundlage zur Einleitung von Instandhaltungsmaßnahmen (Quelle: eigene Darstellung)

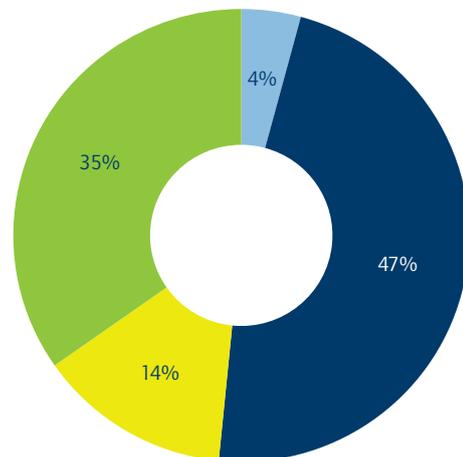
Aus der Umfrage konnten zu den Instandhaltungsstrategien der Unternehmen nun zwei Thesen abgeleitet werden:

1. Die meisten Unternehmen verfügen über keine oder kaum technologische Grundlagen, um eine vorausschauende Instandhaltungsstrategie implementieren zu können.

Sowohl für eine reaktive als auch für die präventive Instandhaltung sind nur verhältnismäßig wenige Daten als Grundlage notwendig. Maschinenausfälle sind sofort bemerkbar, und für die meisten präventiven Maßnahmen reichen Erfahrungswerte der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter oder Herstellerangaben zur Bestimmung des Turnus von Wartungsmaßnahmen aus. Eine vorausschauende Instandhaltung bedarf jedoch einer softwarebasierten, zentralen Lösung, um Echtzeitdaten mithilfe von statistischen Risikoanalysen oder Programmen auf Basis künstlicher Intelligenz auswerten zu können. Für solche Programme ist jedoch nicht nur die Eingabe von Echtzeitdaten erforderlich, sondern auch eine geeignete Basis an Historiendaten, um geeignete Modelle und Analysen aufstellen zu können. Unabdingbare Voraussetzungen sind somit die zentrale Erfassung und eine geeignete zentrale Auswertung von Daten.

Unter den befragten Unternehmen fehlt es insgesamt bei 51 Prozent an einer automatischen und digitalen Datenerfassung.

Werden Zustands-, Störungs- oder Ausfallinformationen erfasst?



- Zustands-, Störungs- oder Ausfallinformationen werden nicht erfasst.
- Zustands-, Störungs- oder Ausfallinformationen werden manuell erfasst und dokumentiert.
- Zustands-, Störungs- oder Ausfallinformationen werden automatisch erfasst und anlagenintern gespeichert.
- Zustands-, Störungs- oder Ausfallinformationen werden automatisch erfasst und an ein zentrales System (z. B. ERP) übermittelt.

Abbildung 2: Datenerfassung (Quelle: eigene Darstellung)

Lediglich 35 Prozent verfügen über ein zentrales Datensystem, welches als Grundlage einer geeigneten Datenauswertung dienen kann (siehe Abbildung 2).

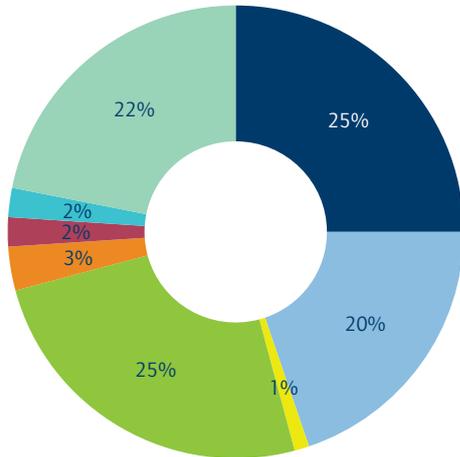
Selbst wenn die Daten erfasst werden und somit die Grundlage für eine Datenauswertung vorliegt, werden diese oft noch nicht ausreichend analysiert. Lediglich 17 Prozent der Unternehmen verfügen über ein zentrales System, welches kontinuierlich Daten erfasst und analysiert. Somit haben nur diese 17 Prozent die Möglichkeit, vorausschauend Wartungsmaßnahmen zu planen.

Die Unternehmen selbst gaben als Hürden zur Umsetzung der Predictive Maintenance mit insgesamt 46 Prozent vor allem Engpässe im IT-Bereich an. Stichworte sind hier Datensicherheit und mangelnde Kompetenzen. Aber auch ein unausgeglichenes Kosten-Nutzen-Verhältnis wurde in 25 Prozent der Fälle als wesentliche Hürde wahrgenommen (siehe Abbildung 3).

Aufgrund fehlender Kompetenzen und Ressourcen können nicht gegebene Voraussetzungen zur Datenerfassung noch nicht implementiert werden. Ohne Datenverarbeitung ist eine Predictive Maintenance jedoch nicht umsetzbar.



In welchem Bereich sehen Sie die größte Hürde zur Umsetzung von Predictive Maintenance?



- Mangelndes Know-how im IT-Bereich
- Mangelnde Datensicherheit
- Mangelnde Datenbasis
- Mangelndes Kosten/Nutzen-Verhältnis
- Umsetzung unklar
- Mangelnde Kapazität
- Technologiekomponenten nicht ausgereift
- Sonstiges

Abbildung 3: Hürden zur Umsetzung einer Predictive Maintenance (Quelle: eigene Darstellung)

2. Die Produktion wird gegenüber der Instandhaltung priorisiert, sodass Wartungsmaßnahmen nur geringfügig vorausschauend geplant werden können.

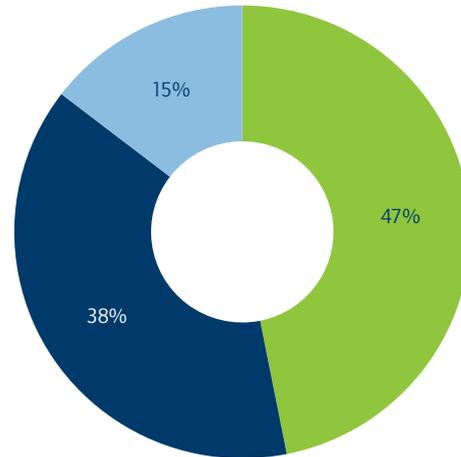
Bereits 2003 wurden in einem Arbeitspapier der Hans-Böckler-Stiftung die Position von Instandhaltung und Produktion diskutiert und die damit verbundenen Auswirkungen beurteilt. Es wurde festgestellt, dass im klassischen und noch heute weit verbreiteten Verständnis die Instandhaltung lediglich als Dienstleistungsfunktion für den Betrieb betrachtet und zwischen Instandhaltung und Produktion priorisiert wird.⁵⁶ Diese strategische Priorisierung führt jedoch dazu, dass Instandhaltungsmaßnahmen erst nach der Produktionsplanung terminiert werden können und sich so nach dem Produktionsplan richten müssen. Eine umfangreiche und vorausschauende Planung wird auf diese Weise sehr erschwert.

56 | Vgl. Hans-Böckler-Stiftung 2003.

57 | Vgl. North 2016, S. 232 ff.

58 | Vgl. North 2016, S. 10.

In welchem Maße werden Instandhaltungsmaßnahmen in die Produktionsplanung integriert?



- Keine Integration
- Instandhaltungsmaßnahmen werden im Produktionsplan hinterlegt.
- Gemeinsame Planung

Abbildung 4: Grad der Integration von Instandhaltungsmaßnahmen in die Produktionsplanung (Quelle: eigene Darstellung)

Die Unternehmensumfrage konnte das Ergebnis dieses Arbeitspapiers bestätigen. Eine gemeinsame Planung, in der die Interessen beider Unternehmensbereiche berücksichtigt werden können, wird von nur 15 Prozent der befragten Unternehmen verfolgt. In 47 Prozent der Fälle muss sich die Instandhaltung vollständig nach dem Produktionsplan richten (siehe Abbildung 4).

4.2 Wissensmanagement

Wissensmanagement stellt in der heutigen Arbeitskultur einen entscheidenden Faktor für den Unternehmenserfolg dar. Es schützt ein Unternehmen vor dem Verlust des wichtigsten Guts deutscher Wirtschaft – dem „Knowhow“-Verlust –, der aus Herausforderungen wie beispielsweise starken Belegschaftsveränderungen infolge des demografischen Wandels und befristeten Arbeitsverträgen aber auch aus Datenverlust oder individueller Belastung von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern resultiert.⁵⁷ Wissensmanagement stellt somit sicher, dass die notwendigen Kenntnisse und Kompetenzen zur Erreichung der strategischen und operativen Ziele vorhanden sind sowie genutzt und weiterentwickelt werden können.⁵⁸ Diese Bedrohung

des unternehmensinternen Wissens betrifft dabei nicht nur wissensbasierte Unternehmensbereiche wie F&E im Allgemeinen, sondern im Besonderen auch Abteilungen wie die Instandhaltung. Vor diesem Hintergrund konnte folgende These aufgestellt werden:

3. Zum heutigen Zeitpunkt werden Systeme des Wissensmanagements in der Instandhaltung unzureichend verfolgt und genutzt.

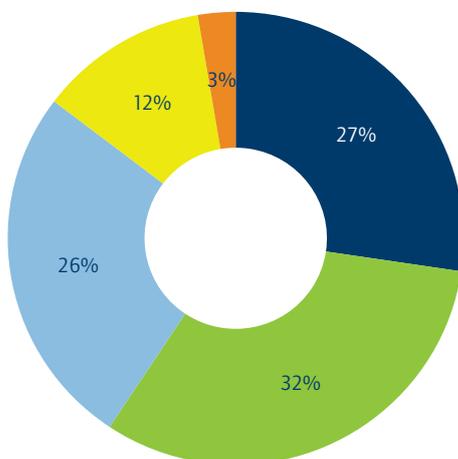
Fast ein Drittel aller befragten Unternehmen gab an, kein standardisiertes Wissensmanagement zu haben – lediglich 38 Prozent der Unternehmen verfügen demnach über einen geeigneten Zugang zu unternehmensinternem Wissen. Von diesen Unternehmen hat wiederum nur etwa ein Drittel die technischen Möglichkeiten, dieses Wissen mobil zur Verfügung zu stellen, sodass das Instandhaltungspersonal direkt vor Ort (an den zu

pflegenden Anlagen) Zugriff auf diese Wissensplattform hat (siehe Abbildung 5).

Die Grundlage für ein angemessenes Wissensmanagement – eine Plattform mit geeigneter Aufbereitung unternehmensinternen Wissens – ist also bei lediglich 38 Prozent der Unternehmen überhaupt gegeben. Aus dem Fehlen solcher Plattformen und Systeme resultiert ein erhöhtes Risiko für den Verlust von erfolgskritischem Wissen und Kompetenzen der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Auch das Wissen, das durch Erfahrung erworben wird, kann so nicht adäquat an andere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter übermittelt werden. Noch dazu fehlt es den meisten Unternehmen neben einer Wissensplattform auch an Anreizen, gerade dieses individuelle Wissen von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern zu dokumentieren und zu teilen. Nur etwa ein Fünftel aller befragten Unternehmen verfolgt demnach ein Anreizsystem zur kontinuierlichen Wissensweitergabe (siehe Abbildung 6).

Neben diesem individuellen Wissen der Belegschaft werden auch standardisierte Prozesse und Abläufe von Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen in den meisten Unternehmen nur

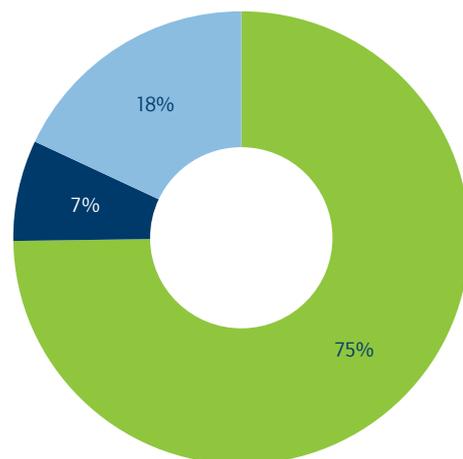
Wie wird Wissen im Unternehmen bereitgestellt und übermittelt?



- Wissen wird in keiner standardisierten Form bereitgestellt. Jeder MA verfügt über individuelles Wissen – Weitergabe bei Bedarf erfolgt mündlich.
- Standardwissen wird in Papierform bereitgestellt. Standardisierte Prozesse zur Wissenserweiterung (z. B. Dokumentation) gibt es nicht.
- Wissen wird in digitaler Form bereitgestellt und ständig erweitert (z. B. in Form eines Wikis). Abgerufen werden kann das Wissen am Computer.
- Wissen wird in digitaler Form bereitgestellt und ständig erweitert (z. B. Wiki). Das Wissen lässt sich über mobile Endgeräte (z. B. Smartphone, Tablet, Smartwatch) verwalten.
- Sonstiges

Abbildung 5: Bereitstellung unternehmensinternen Wissens (Quelle: eigene Darstellung)

Werden Mitarbeitende im Unternehmen motiviert, individuelles Wissen zu teilen?

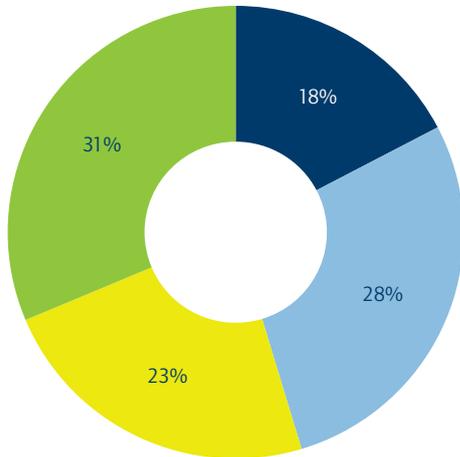


- Es gibt kein Anreizsystem zum Teilen von Wissen.
- Mitarbeitende werden in speziellen Workshops dazu animiert, ihr Wissen zu teilen.
- Mitarbeitende werden durch spezielle Anreize dazu animiert, ihr individuelles Wissen zu teilen.

Abbildung 6: Nutzung von Anreizsystemen zur Wissensweitergabe (Quelle: eigene Darstellung)



Wie werden Abläufe der Instandhaltung dokumentiert?



- Keine Dokumentation
- In Papierform
- Digital dezentral (Word, Excel, Powerpoint, Visio etc.)
- Digital zentral (z. B. ERP, Sharepoint, Datenbank)

Abbildung 7: Dokumentation von Abläufen in der Instandhaltung (Quelle: eigene Darstellung)

unzureichend dokumentiert. Die vorzugsweise dezentrale Erfassung von Daten, wie sie eingangs bereits festgestellt wurde, spiegelt sich auch in der Abbildung von Prozessen wider. Lediglich ein Drittel der Unternehmen stellt die Abläufe innerhalb des Unternehmens zentral und digital zur Verfügung. Ein Fünftel verzichtet sogar gänzlich auf eine genaue Dokumentation (siehe Abbildung 7).

Hierdurch werden nur wenige relevante Informationen für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter frei verfügbar gemacht. Eine Weiterbildung oder Informierung bei Bedarf wird stark erschwert. Hier gilt es, praxistaugliche Lösungen zu finden, um den Wissensverlust zu umgehen und kurzfristige Wissensabfragen sowie persönliche Weiterentwicklungen zu ermöglichen.

4.3 Assistenzsysteme

Die Vorgänge und Maßnahmen in der Instandhaltung zeichnen sich durch eine hohe (technische) Komplexität und eine erhöhte Einmaligkeit gegenüber Produktionsprozessen aus. Vor diesem Hintergrund werden Assistenzsysteme, die die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bei komplexen Aufgaben unterstützen und so

die Effektivität und Qualität der Arbeit verbessern können,⁵⁹ für die Anwendung in Unternehmen stets interessanter. Für den Status quo galt es darum zu untersuchen, inwieweit aktuell bereits verfügbare digitale Assistenzsysteme genutzt werden und wie praxistauglich diese sind. Dabei wurde allerdings Folgendes festgestellt:

4. Digitale Assistenzsysteme werden als wenig praxistauglich oder notwendig betrachtet und spielen in der Instandhaltung eine untergeordnete Rolle.

Die Unterstützung der Instandhaltung beginnt bei softwarebasierten Tools zur Planung und Dokumentation. Hier gaben 20 Prozent der befragten Unternehmen an, bisher keine softwarebasierten Tools zur Unterstützung der Planung oder ähnlicher Tätigkeiten zu nutzen. Mit 35 Prozent erklärte lediglich gut ein Drittel der Befragten, ein ERP-System als Unterstützung zu haben. Dieser geringe Nutzungsgrad ist auf die oben bereits angesprochene unzureichende Datenverwertung zurückzuführen. Eine geeignete ERP-Implementierung erfolgt auf einer gewissen Datengrundlage, die in den meisten Unternehmen zum aktuellen Zeitpunkt nicht gegeben ist.

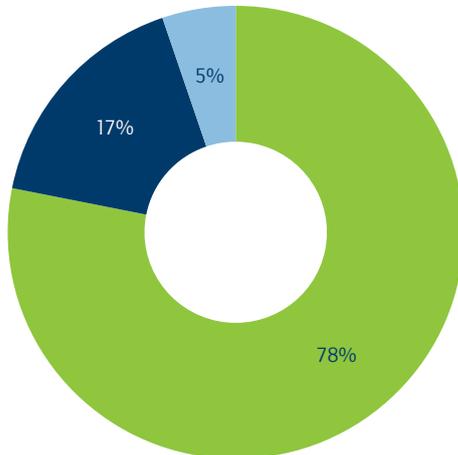
Neben solchen vergleichsweise einfach zu implementierenden Tools gibt es mittlerweile auch die Möglichkeit, bestimmte Aufgaben mithilfe von Augmented und Virtual Reality (im Folgenden VR/AR genannt) zu bewältigen. Diese Technologien spielen beispielsweise bei Schulungen und der gemeinsamen Bearbeitung von Aufgaben bei räumlicher Trennung der involvierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter eine Rolle.

Die Anwendung solcher Systeme findet jedoch nur vereinzelt und in den meisten Unternehmen vorzugsweise in den Bereichen Verkauf oder F&E statt, wie sich am Beispiel von AR gut verdeutlichen lässt. So gaben insgesamt 95 Prozent aller Unternehmen an, außerhalb von Forschung und somit beispielsweise in der Instandhaltung keine AR zu nutzen (siehe Abbildung 8).

Sofern sich Unternehmen dazu entscheiden, dies zu ändern, müssen sie sich heutzutage außerdem noch einigen Hürden stellen. Die Barrieren, die bei der Implementierung auftreten, sind dabei vielfältig. Am häufigsten genannt wurden eine fehlende Internetverbindung im Produktionsumfeld (22 Prozent), fehlende Akzeptanz bei Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sowie Führungspersonen (22 Prozent), fehlendes Knowhow (18 Prozent) und ein mangelndes Kosten-Nutzen-Verhältnis (16 Prozent).

59 | Vgl. Reichel et al. 2018, S. 228 f.

Wird in Ihrem Unternehmen AR eingesetzt?



- AR wird im Unternehmen nicht genutzt.
- AR wird in ersten Pilotprojekten in F&E erprobt und genutzt.
- AR findet sich in der Anwendung (z. B.: in Verkauf, Schulung und Service).

Abbildung 8: Einsatz von Augmented Reality
(Quelle: eigene Darstellung)

4.4 Ersatzteilmanagement

Das Ersatzteilmanagement der Instandhaltung ist die Grundlage, um alle weiteren Aufgaben effektiv und sinnvoll lösen zu können. Innerhalb dieses Aufgabenbereichs wird dafür gesorgt, dass notwendige Arbeitsmaterialien rechtzeitig und ausreichend sowie wichtige Schlüsselkomponenten von (Produktions-) Anlagen vorrätig sind, sodass Wartungs- und Instandsetzungsaufgaben in einem angemessenen Zeitraum und zum optimalen Zeitpunkt angegangen werden können. Etwa zwei Drittel befragter Unternehmen geben darum an, dass die Ersatzteillogistik eine hohe Bedeutung für den Unternehmenserfolg hat.⁶⁰ Innerhalb der Ersatzteillogistik ist insbesondere die Entscheidung bezüglich der Beschaffung von Ersatzteilen erfolgskritisch, sodass „[...] die Hauptaufgabe [...] sein muss, den Ersatzteilbestand so zu steuern, dass ein ersatzteilwirtschaftliches Optimum erreicht wird“.⁶¹ Das Ersatzteilmanagement beeinflusst Lagerkosten, Verfügbarkeit von Ersatzteilen und damit verbundene Zeitaufwände der Instandhaltungsmaßnahmen. Für die Beschaffung konnte aus der Unternehmensbefragung folgender Status quo abgeleitet werden:

5. Die Entscheidung zur Dimensionierung von Ersatzteilen basiert zur einen Hälfte bereits auf digital erfassten Historiendaten und zur anderen Hälfte auf nicht überprüfbaren Angaben wie Erfahrungswerten und Herstellerangaben.

Hierzu muss zunächst die Verwaltung von Ersatzteilen analysiert werden. Dafür nutzt bereits etwa die Hälfte aller befragten Unternehmen ein ERP-System, sodass sie über die notwendigen Daten für statistische Analysen zentral verfügen. Weitere 29 Prozent der Unternehmen erfassen Daten zu den Ersatzteilen dezentral in softwarebasierten Tools, sodass hier eine gute Ausgangslage zur Implementierung eines zentralen Programms zur Auswertung dieser Daten vorliegt. Allerdings muss an dieser Stelle auch auf insgesamt 23 Prozent der Befragten aufmerksam gemacht werden, die bisher keine digitale Erfassung solcher Daten vornehmen. Da die meisten Anwendungen in der Smart Maintenance auf digitalen Daten beruhen, ist es für diese Unternehmen besonders relevant, diese Lücke zu schließen. Dies gilt in erster Linie für die sechs Prozent der Unternehmen, die über keine Datengrundlage verfügen, da keine Verwaltung der Ersatzteile stattfindet (siehe Abbildung 9).

Wie werden Ersatzteile im Unternehmen verwaltet?

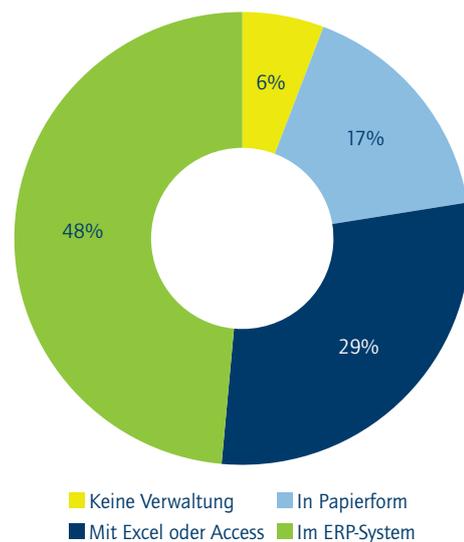


Abbildung 9: Form der Verwaltung von Ersatzteilen
(Quelle: eigene Darstellung)

60 | Vgl. Huth/Goele 2013, S. 7.

61 | Biedermann 2008, S. 7.



Neben dieser Voraussetzung für die Anwendung softwarebasierter Tools ist in einem zweiten Schritt zu untersuchen, wie diese Daten zur Dimensionierung der Ersatzteile genutzt werden. Keines der befragten Unternehmen zieht hier bisher eine Risikokalkulation zur ganzheitlichen Dimensionierung des Ersatzteilbestands heran. Genutzt werden hauptsächlich Herstellerempfehlungen und/oder Erfahrungswerte der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter (69 Prozent). Diese werden jedoch ohne Datengrundlage, also ohne vergleichbare und einheitliche Systematik, erhoben. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Zahlen der Nutzung von ERP-Systemen, sodass diejenigen Unternehmen, die solche Systeme nicht implementiert haben, tendenziell keine Historiendaten nutzen beziehungsweise nutzen können. Eine vorwiegende Dimensionierung der Beschaffung von Ersatzteilen auf Basis von Historiendaten findet demnach bei nur etwa einem Drittel (31 Prozent) der befragten Unternehmen statt (siehe Abbildung 10).

Was bildet die überwiegende Grundlage zur Dimensionierung von Ersatzteilbeständen?

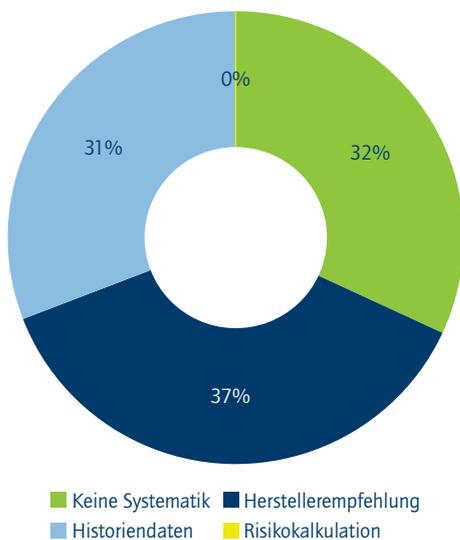


Abbildung 10: Entscheidungsgrundlagen zur Dimensionierung von Ersatzteilbeständen (Quelle: eigene Darstellung)

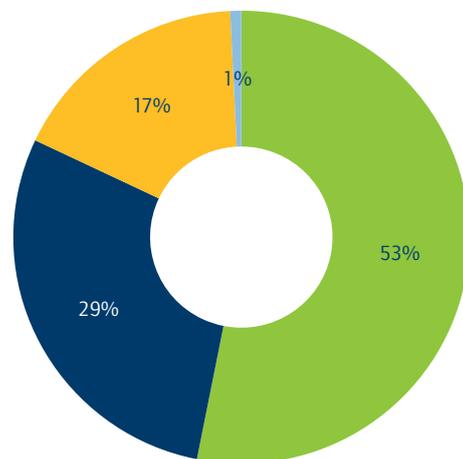
4.5 Kompetenzentwicklung

Neben dem Wissensmanagement, das hauptsächlich dem Erhalt unternehmensinternen Wissens dient, spielt auch der gezielte Kompetenzaufbau zu neuen Themen und bei der Ausbildung neuer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter eine entscheidende Rolle für den Erfolg und die Effizienz in der Instandhaltung. Insbesondere für den Aspekt der gegenwärtigen Herausforderung durch die Digitalisierung von Unternehmen und der Instandhaltung konnte folgender Status quo ermittelt werden:

6. Es besteht hoher Handlungsbedarf für den gezielten Aufbau von Kompetenzen im Kontext der Digitalisierung.

Bei gezieltem Kompetenzaufbau innerhalb von Unternehmen muss zwischen Schulungsmaßnahmen für bestehendes Personal und der Ausbildung neuer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter differenziert werden. Während die Ausbildung einmalig stattfindet, sollten Schulungsmaßnahmen aufgrund sich immer wieder verändernder Bedingungen und Voraussetzungen kontinuierlich

Werden Mitarbeitende auf Herausforderungen der Digitalisierung vorbereitet?



- Bislang gibt es keine speziellen Schulungsmaßnahmen für erfahrene Mitarbeitende. Diese werden bei Komplikationen grundsätzlich von anderen Mitarbeitenden/IT unterstützt.
- Erfahrene Mitarbeitende werden in Workshops zu spezifischen neuen Tätigkeiten gezielt geschult.
- Erfahrene Mitarbeitende werden kontinuierlich und umfassend in die IT-Umgebung eingeführt und für einen sicheren und selbstständigen Umgang vorbereitet.
- Sonstiges

Abbildung 11: Intensität des Kompetenzaufbaus für erfahrene Mitarbeitende in Bezug auf Digitalisierung (Quelle: eigene Darstellung)

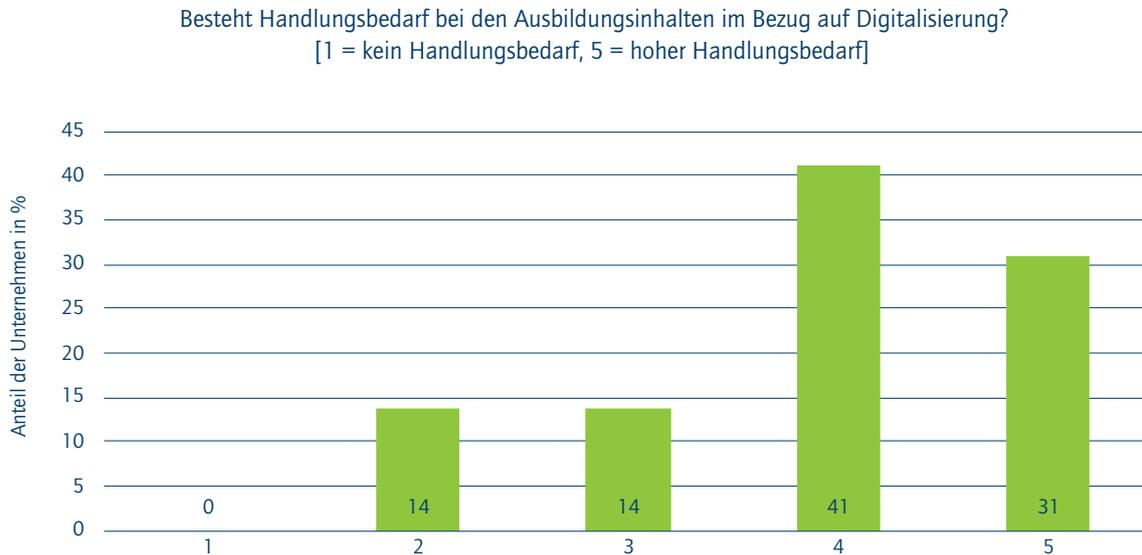


Abbildung 12: Einschätzung des Handlungsbedarfs bei Ausbildungsinhalten in Bezug auf Digitalisierung
(Quelle: eigene Darstellung)

verfolgt werden.⁶² Eine solche Kontinuität ist bisher bei lediglich 17 Prozent der befragten Unternehmen zu finden. Insgesamt 53 Prozent verzichten bislang gänzlich auf Schulungsmaßnahmen in diesem Bereich (siehe Abbildung 11).

Für den Kompetenzaufbau in Bezug auf Digitalisierung in der Ausbildung zeichnet sich ein ähnliches Bild. Eine Einschätzung im Rahmen der Befragung war hier beispielsweise, dass „Digitalisierung zurzeit – wenn überhaupt – eine untergeordnete Rolle [spielt]“. Ferner wurde angegeben, dass mittlerweile vermehrt Nachschulungen frisch ausgebildeter Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter nötig seien, da neueste Technologien in der Ausbildung nicht vermittelt werden. Insgesamt 72 Prozent der Befragten sind entsprechend der Ansicht, dass hoher Handlungsbedarf für die Anpassung der Ausbildungsinhalte besteht. Nicht ein befragtes Unternehmen schätzte die Situation so ein, dass kein Handlungsbedarf besteht (siehe Abbildung 12).

Somit lässt sich die These bestätigen, dass innerhalb der Unternehmen für die Aus- und Weiterbildung von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern gezielte Maßnahmen für den Kompetenzaufbau in Bezug auf Digitalisierung fehlen. Um mit den Herausforderungen neuer Entwicklungen zurechtzukommen, ist es hier Aufgabe der Unternehmen, geeignete Mittel zu finden, um diese Lücke zu schließen. Das wurde auch von den befragten

Unternehmen so beurteilt: Mit 32 Prozent gaben die meisten Befragten an, dass der größte Investitionsbedarf in der Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter liegt.

4.6 Ökonomische Sicht

Wie bereits im Abschnitt zu den Instandhaltungsstrategien festgestellt, wird die Instandhaltung in den meisten Unternehmen als Kostenfaktor und Instrument für Notfälle verstanden. Dass durch eine gute Instandhaltung Kosten vermieden und durch eine verbesserte Verfügbarkeit der Produktionsanlagen sogar eine Umsatzsteigerung erreicht werden kann, ist vielen Unternehmensvertreterinnen und -vertretern zum heutigen Zeitpunkt noch nicht bewusst. Das spiegelte sich auch in den Ergebnissen der Umfrage wider: 66 Prozent der befragten Unternehmen gaben an, dass die Instandhaltung einen geringen Stellenwert im Unternehmen und in der Führungsebene einnimmt. Lediglich neun Prozent würden den Stellenwert der Instandhaltung als hoch einstufen (siehe Abbildung 13). Als Begründung wurde hier wiederum angeführt, dass die Instandhaltung nur als „Kostenfalle“ betrachtet wird. Währenddessen wurde ein hoher Stellenwert ebenso damit begründet, dass der Anteil der Produktionskosten, die durch die Instandhaltung beeinflussbar sind, wettbewerbsdifferenzierend ist.

62 | Vgl. North 2016, S. 167.



Wie schätzen Sie den Stellenwert der Instandhaltung in Ihrem Unternehmen ein?

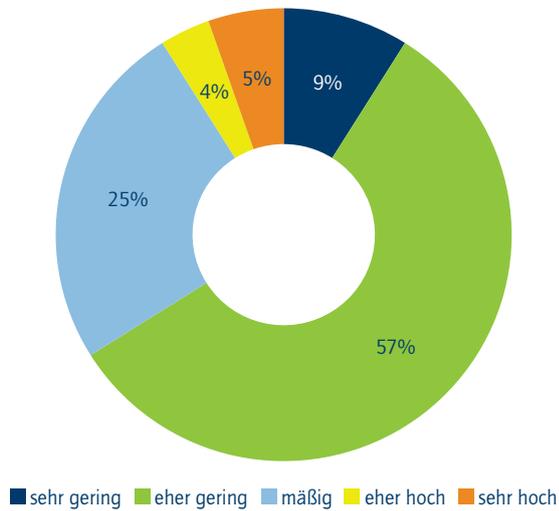


Abbildung 13: Stellenwert der Instandhaltung innerhalb des Unternehmens (Quelle: eigene Darstellung)

Hieraus und aus den weiteren Ergebnissen der Unternehmensumfrage wurde folgende These zum Status quo abgeleitet:

7. Die Bedeutung des Bereichs Instandhaltung für den Unternehmenserfolg wird als zu gering eingeschätzt.

Soll ein Unternehmensbereich nicht als notwendiges Übel, sondern als erfolgsbeeinflussende Größe eingestuft und strukturell bewertet werden, so ist die Erfassung von Kennzahlen erforderlich. Diese bieten die Grundlage für die Diskussion verschiedener Strategien und Handlungsempfehlungen zur Entwicklung und Veränderung dieses Bereichs sowie zum Controlling. Im Rahmen der Unternehmensbefragung gaben die Unternehmen darum unter anderem an, welche Kennzahlen im eigenen Betrieb für den Bereich Instandhaltung erhoben werden. Hierbei waren Mehrfachnennungen möglich, da die Erfassung einer Kennzahl die Erfassung einer anderen Kennzahl nicht ausschließt und für eine umfassende Beurteilung die Erhebung verschiedener Kennzahlen zudem notwendig ist.

Dabei wurde von etwa 26 Prozent der Unternehmen angegeben, dass sie gar keine Kennzahlen erheben. Es ist außerdem zu erkennen, dass viele Unternehmen nur einen kleinen Teil der angegebenen Kennzahlen zusammentragen. Lediglich die Anlagenverfügbarkeit mit rund 58 Prozent und die Gesamtanlageneffizienz (OEE) mit einem Wert von etwa 73 Prozent werden von den meisten Unternehmen erhoben (siehe Abbildung 14).⁶³

Neben der Erfassung von Kennzahlen lässt sich der Stellenwert eines Bereichs auch an der Höhe entsprechender Investitionen ablesen. Hierbei wurde deutlich, dass bei 48 Prozent der Unternehmen die Investitionen in die Instandhaltung eher ungenügend sind. Bei etwa der Hälfte der Unternehmen erfüllt die Investitionshöhe also nicht die Mindestanforderungen für die Weiterentwicklung der Instandhaltung zu einer Smart Maintenance. Nur 38 Prozent der Unternehmen gaben an, dass in die Instandhaltung in den jeweiligen Unternehmen tendenziell hinreichend investiert wird. Nur in jedem zehnten dieser Unternehmen sind die Investitionen tatsächlich ausreichend – das entspricht vier Prozent der insgesamt befragten Unternehmen (siehe Abbildung 15). Eine Entwicklung der Instandhaltung ist aufgrund nicht vorhandener Mittel zum heutigen Zeitpunkt nicht möglich. Um den steigenden Forderungen der Industrie 4.0 gewachsen zu sein, ist es daher unumgänglich, die Investitionen in den Bereich Instandhaltung massiv zu erhöhen.

Der Investitionsbedarf wurde dabei zum größten Teil – wie oben bereits beschrieben – in der Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter (32 Prozent) gesehen. Den nächstgrößeren Posten machte die Entwicklung der genutzten Technologien und deren Digitalisierung aus (29 Prozent). Außerdem wurde Bedarf in den Instandhaltungsstrategien (23 Prozent) und bei der Entwicklung neuer Technologien (16 Prozent) identifiziert. Sofern diese Bedarfe ungedeckt bleiben, ist die nötige Entwicklung in diesen Bereichen der Instandhaltung und somit zwangsläufig auch die Entwicklung des Unternehmens zu einer Smart Factory unmöglich.

63 | Die Kennzahlen MTBF und MTTR bilden die mittlere Zeit zwischen zwei Geräteausfällen beziehungsweise Instandsetzungen ab.

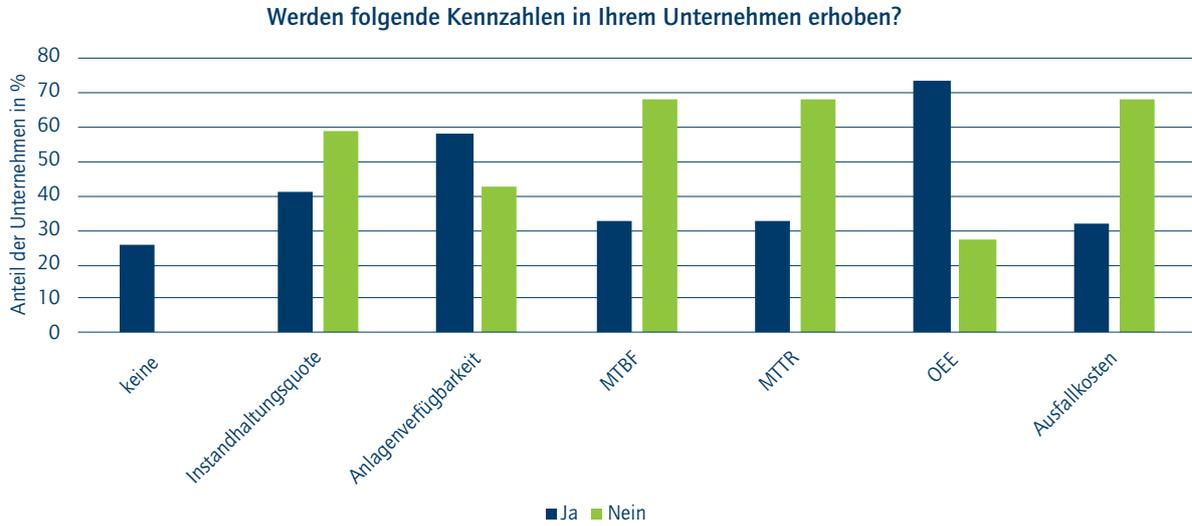


Abbildung 14: Erhebung von Kennzahlen in der Instandhaltung (Quelle: eigene Darstellung)



Abbildung 15: Bewertung der Investitionen in die Instandhaltung (Quelle: eigene Darstellung)



4.7 Fazit

Der Status quo der Instandhaltung in der Entwicklung zur Smart Maintenance konnte in den folgenden Thesen festgehalten und durch die Ergebnisse der empirischen Untersuchung bestätigt werden:

1. Die meisten Unternehmen verfügen über keine oder kaum technologische Grundlagen, um eine vorausschauende Instandhaltungsstrategie implementieren zu können.
2. Die Produktion wird gegenüber der Instandhaltung priorisiert, sodass Wartungsmaßnahmen nur geringfügig vorausschauend geplant werden können.
3. Zum heutigen Zeitpunkt werden Systeme des Wissensmanagements in der Instandhaltung unzureichend verfolgt und genutzt.
4. Digitale Assistenzsysteme werden als wenig praxistauglich oder notwendig betrachtet und spielen in der Instandhaltung eine untergeordnete Rolle.
5. Die Entscheidung zur Dimensionierung von Ersatzteilen basiert zur einen Hälfte bereits auf digital erfassten Historien- und zur anderen Hälfte auf nicht überprüfbaren Angaben wie Erfahrungswerten und Herstellerangaben.
6. Es besteht hoher Handlungsbedarf für den gezielten Aufbau von Kompetenzen im Kontext der Digitalisierung.
7. Die Bedeutung des Bereichs Instandhaltung für den Unternehmenserfolg wird als zu gering eingeschätzt.

Diese Kernaussagen über den Status quo stehen für einige wesentliche Ausprägungen in der Instandhaltung von heute. So hat insgesamt etwa ein Drittel aller Befragten in der Unternehmensstrategie mittlerweile die Weichen gestellt, um Voraussetzungen für die vorausschauende Instandhaltung zu schaffen. Aus der ersten Feststellung, dass es den meisten Unternehmen an den technischen Voraussetzungen für die vorausschauende Planung fehlt, resultiert allerdings auch, dass die meisten Unternehmen bisher eine **überwiegend reaktive Instandhaltungsstrategie** verfolgen.

Durch die Priorisierung der Produktion gegenüber der Instandhaltung (zweite Feststellung) gehen in der Instandhaltung Möglichkeiten verloren, die notwendigen Maßnahmen einzuleiten oder auch wertsteigernde Arbeiten durchzuführen. Das drückt sich zum einen in einer **getrennten Planung von Produktion und Instandhaltung** aus, bei der sich die Instandhaltung nach den Produktionsplänen richten muss, und zum anderen in der Wahrnehmung der **Instandhaltung als Kostenverursacher**. Dieser Punkt wird auch in der siebten Feststellung

sehr deutlich. In der aktuellen ökonomischen Sicht wird der Bereich der Instandhaltung nicht als wertsteigernd wahrgenommen. Dieser niedrige Stellenwert könnte unter anderem eine Ursache für die zu geringen Investitionen vieler Unternehmen in die Instandhaltung sein und erklären, warum ein großer Teil der befragten Unternehmen Predictive Maintenance und andere Smart-Maintenance-Anwendungen bislang nicht umfassend implementiert hat.

Es zeigt sich deutlich, dass die Transformation der verschiedenen Aufgabenfelder bisher nicht ausreichend behandelt worden ist. So sind die Handlungsfelder Wissensmanagement, Assistenzsysteme und Ersatzteilmanagement bisher oft nur wenig in der Lage, Anforderungen der Smart Maintenance zu erfüllen. So verfügen 38 Prozent der Unternehmen zwar über ein digitales Wissensmanagement, ein Drittel verfolgt jedoch gar keine Form von Wissensmanagement. 75 Prozent aller Unternehmen haben außerdem kein Anreizsystem, das Wissensmanagement zu nutzen; das betrifft auch die Unternehmen, die bereits eine digitale Form des Wissensmanagements etabliert haben. Dies hat zur Folge, dass neu erworbenes Wissen nicht aktiv weiterverbreitet werden kann und sehr stark an die jeweilige Person gebunden ist. Neben fehlender Verbreitung bestehenden Wissens leidet auch der Kompetenzaufbau im Bereich Digitalisierung unter den unzureichenden Maßnahmen. Mit der dritten und der sechsten Feststellung folgt demnach auch, dass Kompetenzen nur unzureichend erworben werden. Diese **Kompetenzen und das Knowhow sind stark personenbezogen**, und ein Verlust von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bedeutet demnach auch einen Wissensverlust.

Auch bei Assistenzsystemen nutzen laut der vierten Feststellung 80 Prozent der Befragten bisher keine digitalen Technologien. Die meisten Unternehmen verzichten also bisher auf digitale Unterstützung an den Produktionsanlagen – sei es aus technologischen, aus finanziellen oder aus Gewohnheitsgründen. Durch diesen Verzicht auf dezentrale Steuerungssysteme, mobile Endgeräte und Technologien wie AR/VR, welche orts- und zeitunabhängige Schulungen und Planungen ermöglichen, wird insbesondere die in der Smart Maintenance notwendige Flexibilität stark eingeschränkt. Die **geringe Flexibilität** spiegelt sich auch in der Produktion wider, da eine unflexible Instandhaltung bei kurzfristigen Änderungen nicht angemessen auf Verfügbarkeitsanforderungen reagieren kann.

Die rudimentäre Nutzung digitaler Unterstützung schlägt sich auch im Feld des Ersatzteilmanagements nieder. Etwa die Hälfte der befragten Unternehmen nutzt bisher keine zentrale

softwarebasierte Lösung zur Verwaltung der gelagerten und bestellten Ersatzteile. Und obwohl die andere Hälfte mit der Nutzung eines ERP-Systems in der Lage wäre, Risikokalkulationen und Bewertungen von Echtzeitdaten zur Dimensionierung der Ersatzteilbestände heranzuziehen, wird diese Option gegenwärtig maximal in beschränkten Testphasen genutzt. Die fünfte Feststellung macht hier deutlich, dass das Potenzial der optimierten Bestandsdimensionierung auf der Grundlage von softwarebasierten Programmen keine Rolle spielt. Die Folge von nicht individuell auf das Unternehmen abgestimmten Beschaffungen sind oft hohe Lagerkosten aufgrund zu hoher Bestände oder verlängerte Anlagenstillstände aufgrund zu niedriger Bestände von kritischen Ersatzteilen. Auch Erfahrungswerte von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bieten hier aufgrund der individuellen Risikoaffinität und der erhöhten Fehler rate keine geeignete Alternative. Insbesondere bei einer hohen

Anzahl verschiedener Anlagen und Ersatzteile führt ein solches **unstrukturiertes Ersatzteilwesen** darum schnell zu Verfügbarkeitsproblemen und erhöhten Kosten.

Diese Ausprägungen der sieben Kernaussagen aus der Umfrage über den Status quo lassen sich wie in Abbildung 16 prägnant zusammenfassen.

Die Abbildung verdeutlicht, dass ein Bewusstsein für die Chancen der Smart Maintenance fehlt. Während technologische Entwicklungen verfolgt werden, werden daraus entstandene Anwendungen kaum eingesetzt. In den nächsten Schritten gilt es nun, diesen Status quo gegenüber der Zielvision Smart Maintenance abzugrenzen und so die Lücke zwischen beiden Stadien zu ermitteln. Abschließend kann diese Lücke durch die in Kapitel 6 vorgestellte Roadmap geschlossen werden.

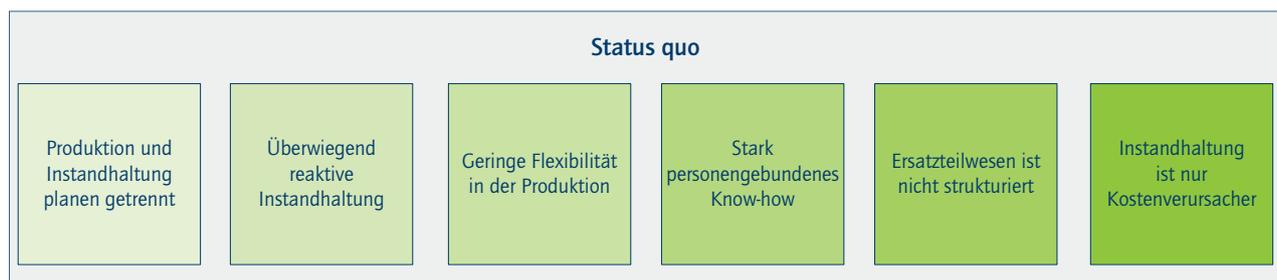


Abbildung 16: Status quo der Instandhaltung in Bezug auf die Entwicklung hin zu einer Smart Maintenance (Quelle: eigene Darstellung)



5 Entwicklung einer Zielvision „Smart Maintenance“

Der im vorangegangenen Kapitel ermittelte Status quo wird im nachfolgenden Kapitel zu der Zukunftsvision der Smart Maintenance in Bezug gesetzt. Anhand dieser Gegenüberstellung kann ein „Vorher-Nachher-Vergleich“ gezogen werden, um zukünftigen Handlungsbedarf zu identifizieren. Um diesen Vergleich herzustellen, wird im Rahmen dieses Kapitels eine „Zielvision Smart Maintenance“ entwickelt, die ausgehend von den Ergebnissen der acatech POSITION, den Erkenntnissen aus der Unternehmensbefragung sowie der Diskussionen innerhalb der Projektgruppe abgeleitet wurde.

Die Definition von Smart Maintenance wurde in Kapitel 3 bereits festgehalten:

„Smart Maintenance bezeichnet eine lernorientierte, selbstregulierte Instandhaltung mit dem Ziel, die technische und ökonomische Wirksamkeit von Instandhaltungsmaßnahmen unter Berücksichtigung des jeweiligen vorhandenen Produktionssystems durch die Nutzung digitaler Anwendungen zu maximieren.“

Ihr Ziel ist es demnach, unter umfassender und integrierter Berücksichtigung des Produktionssystems die technische und ökonomische Wirksamkeit der Instandhaltungsmaßnahmen zu maximieren. Durch eine strategische Neuausrichtung, welche auch das taktische und operative Management der Instandhaltung und des gesamten Unternehmens beeinflusst, können mithilfe gezielter Maßnahmen Erfolgsfaktoren wie Produktionszeit, -kosten und -qualität direkt optimiert werden. Insbesondere die Betrachtung des gesamten Systems innerhalb eines Unternehmens unterscheidet die Smart Maintenance dabei von der klassischen Instandhaltung. Aufgrund dieser unterschiedlichen Ausrichtung war und ist es notwendig, die Handlungsfelder der klassischen Instandhaltung zu hinterfragen, um jene der Smart Maintenance ermitteln zu können.

Anhand des Status quo wird deutlich, dass Ausrichtung und Entwicklung der Instandhaltung eher nebensächlich sind und durch

die Priorisierung nur eine nachgelagerte Rolle einnehmen. Die Produktion wird in vielen Bereichen stark verändert, der Automatisierungsgrad nimmt stetig zu, und die Komplexität der Anlagen wächst durch zusätzliche sensorische Technologiekomponenten. Auch solche Anlagen müssen jedoch zukünftig einen gewissen Grad an Leistungsfähigkeit und -verfügbarkeit erfüllen. Hierfür ist nach wie vor und mehr denn je die Instandhaltung zuständig. Wird dieser Unternehmensbereich im Laufe der Weiterentwicklung jedoch außer Acht gelassen, wird das Instandhaltungspersonal aufgrund fehlender Kompetenzen und technologischer Möglichkeiten nicht in der Lage sein, diese Anforderungen zu erfüllen. Auch eine mögliche wertsteigernde Arbeit kann in diesem Bereich nicht stattfinden, sofern nicht die dafür notwendigen Mittel zur Verfügung gestellt werden. Es ist also erforderlich, die Bereiche der Instandhaltung im Sinne einer Smart Maintenance weiterzuentwickeln, um die Befähigung zur wirtschaftlichen Produktion und zur digitalen Transformation ausreichend sicherzustellen. Diese Entwicklung bedarf einer strukturierten Vorgehensweise, die mithilfe dieser Publikation angeleitet werden soll. Aus diesem Grund wurden anhand der bereits gewonnenen Ergebnisse insgesamt sechs **Handlungsfelder der Smart Maintenance** identifiziert, die in der Zukunft konkret auszugestalten sind (siehe Abbildung 17).

Da die Smart Maintenance heute nach wie vor häufig eine Zukunftsvision ist und auch einige Schlüsseltechnologien noch nicht ausgereift sind, ist es nicht möglich, diese Handlungsfelder als allumfassend und endgültig zu betrachten. Durch die Anwendung und Entwicklung neuer technologischer Lösungen ist auch die Entstehung weiterer Handlungsfelder nicht auszuschließen. Im Folgenden werden die einzelnen Handlungsfelder und ihre Relation zur konventionellen Instandhaltung genauer erläutert.

Das erste Handlungsfeld **Gemeinsame Planung aller Akteure** zielt auf die notwendige Interdisziplinarität der Bereiche Produktion und Instandhaltung ab. Die Vernetzung sämtlicher Entitäten im Sinne der Industrie 4.0 verlangt demnach eine kollaborative Planung, die das Bereichsdenken überwindet. Diese Vernetzung findet nicht nur entlang von Wertschöpfungsketten statt, sondern auch im Unternehmen selbst. So kann auch die Priorisierung eines Bereichs, die wiederum zulasten eines anderen Bereichs geht, im Vorhinein ausgeschlossen werden. Ferner sind die zu erreichenden Ziele nicht mehr für die einzelnen Abteilungen isoliert, sondern bereichsübergreifend ausgelegt. Eine Produktionsentscheidung und die Entscheidung für eine Instandhaltungsmaßnahme verfolgen demnach nicht mehr unterschiedliche Ziele und müssen nicht länger gegeneinander abgewogen werden. Durch die gemeinsame Zielverfolgung

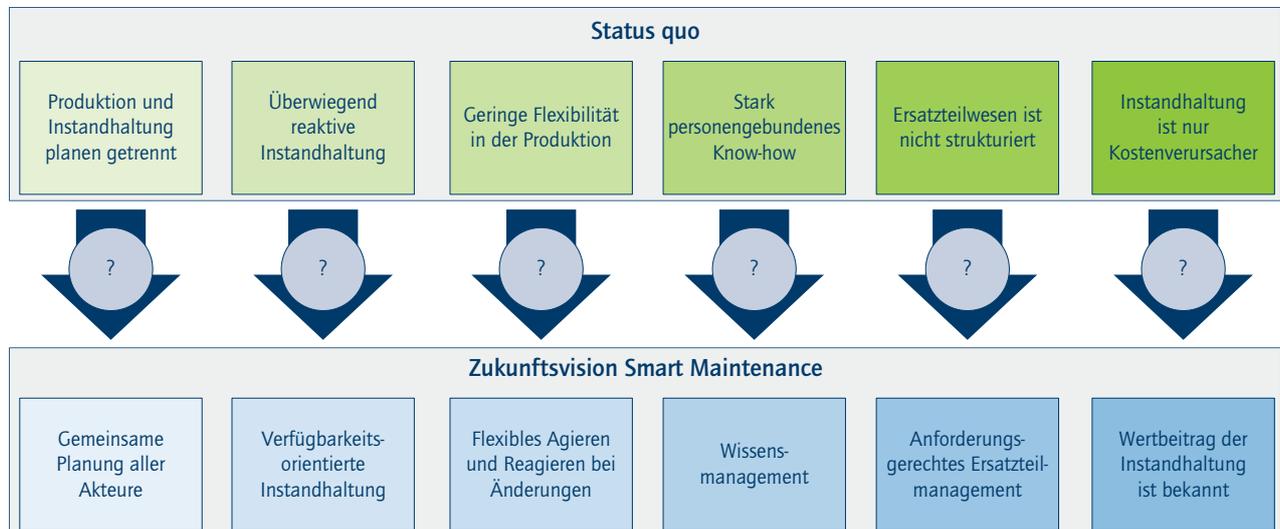


Abbildung 17: Transformation des Status quo zur Zielvision Smart Maintenance (Quelle: eigene Darstellung)

bewertet jede Abteilung bevorstehende Maßnahmen nach derselben Entscheidungsgrundlage.⁶⁴

Eine **verfügbarkeitsorientierte Instandhaltung** verfolgt die optimale Kombination aus reaktiven und präventiven Maßnahmen.⁶⁵ Hier gilt es, den Anteil an vorbeugenden Wartungsmaßnahmen gegenüber dem rein reaktiven Instandsetzen zu erhöhen und auf die Bedürfnisse der Produktion im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit der Anlagen abzustimmen. Durch die echtzeitdatenbasierten Vorhersagen verschiedener Zustände und Szenarien können Entscheidungen getroffen werden, die diese Vorgaben der vorausschauenden Wartung einhalten.

Dennoch müssen das Unternehmen und dessen Arbeitsbereiche – insbesondere Instandhaltung und Produktion – trotz ihrer Planung flexibel genug sein, auf kurzfristige Änderungen zu reagieren und die aktuellen Maßnahmen entsprechend anzupassen. Ein **flexibles Agieren und Reagieren bei Änderungen** setzt darum Prozesse, die sich dynamisch an Umgebungsveränderungen anpassen, voraus. Darüber hinaus steht die Autonomie cyber-physischer Systeme in diesem Kontext im Mittelpunkt.

Das Handlungsfeld des **Wissensmanagements** verfolgt die Absicht, vorhandenes Wissen zu konservieren, neu erlangtes Wissen aufzunehmen und zugänglich zu machen sowie die

Möglichkeit zu schaffen, sich gezielt in anderen Bereichen weiterentwickeln zu können. Obwohl die Aufgaben des Wissensmanagements in der Smart Maintenance die gleichen Aspekte beinhalten wie die entsprechenden Handlungsfelder der klassischen Instandhaltung, sind große Unterschiede auszumachen. Smart Maintenance setzt eine zugrunde liegende Daten- beziehungsweise Wissensbasis voraus. Durch die Digitalisierung von Wissen können Informationen, die zuvor lokal oder personenbezogen isoliert wurden, allgegenwärtig zugänglich gemacht werden. Auch die Aneignung neuen Wissens, sowohl in der Aus- als auch in der Weiterbildung, wird durch die Digitalisierung stark beeinflusst. Technologien wie unter anderem Augmented und Virtual Reality werden hier in Zukunft eine wesentliche Rolle spielen.

Ein weiterer Bereich, der in der Smart Maintenance bestehen bleibt, ist der des **Ersatzteilmanagements**. Dieses Handlungsfeld wird sich hauptsächlich durch eine hochgradig autonome Bestellung, Erfassung und Bevorratung von Ersatzteilen auszeichnen. Diese Veränderung erfordert unter anderem eine datenbasierte Klassifizierung der Ersatzteile sowie eine Bewertung hinsichtlich ihrer Notwendigkeit sowie ihres Einflusses auf die Produktion.⁶⁶

Der **Wertbeitrag der Instandhaltung** verdeutlicht als Querschnittshandlungsfeld die Rolle der Instandhaltung als

64 | Vgl. Brühl 2015, S. 186 ff.

65 | Vgl. Leidinger 2014, S. 21 ff.

66 | Vgl. Biedermann 2008, S. 129 ff.



kostenvermeidenden sowie werttreibenden Faktor. Dieses Handlungsfeld greift auch jenes der ökonomischen Sicht auf: Die Aufgaben, die in diesem Handlungsfeld der klassischen Instandhaltung wahrgenommen wurden, werden demnach auch hier beachtet. Entscheidend ist, dass für die Smart Maintenance ein Sinneswandel angestrebt wird, der ein Verständnis dahingehend schafft, dass eine moderne Instandhaltung einen Wertbeitrag leistet, anstatt Kosten zu verursachen.⁶⁷ Dadurch verändern sich auch Kennzahlen und die Bewertung von Instandhaltungsmaßnahmen, die in diesem Handlungsfeld stattfindet, und auch die Kommunikation dieser Ergebnisse an die Belegschaft wird dadurch beeinflusst.

In Abbildung 17 noch ausgegraut ist die Umsetzung der einzelnen Handlungsfelder, mit deren Hilfe die Vision der Smart Maintenance realisiert werden soll. In Experteninterviews wurden zusätzlich zu Erarbeitungen in der Projektgruppe Anwendungen ermittelt, die diese Transformation ermöglichen. Hier wurden die Unternehmensvertreterinnen und -vertreter insbesondere zu ihrer Expertise hinsichtlich bestehender Hürden aus der industriellen Praxis befragt. Diese Transformation wird vor allem durch die Integration neuer technologischer Entwicklungen erreichbar sein. Hier muss neben der Implementierung der konkreten Anwendungen jedoch auch beachtet werden, wie sich diese Veränderungen auf den Arbeitsschutz und die Arbeitssicherheit auswirken. Es muss bei einer Umstellung seitens der Unternehmen also gewährleistet werden, dass eine Transformation stattfindet, die auch die Sicherheit der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter berücksichtigt.

Zu den Anwendungen, die die Transformation ermöglichen, zählen sowohl konkrete Technologien als auch Anwendungen einzelner Strategien oder Entwicklungen. Im Folgenden werden sie als Bausteine bezeichnet und in den Kontext der einzelnen Handlungsfelder eingeordnet. Wie oben bereits angemerkt, werden Assistenzsysteme in der Zukunftsvision Smart Maintenance eine essenzielle Rolle spielen und daher aus keinem Bereich mehr wegzudenken sein.⁶⁸ Aus diesem Grund ist dieses Handlungsfeld, welches in der klassischen Instandhaltung weitgehend optional gestaltbar war, nicht mehr explizit aufgeführt. Stattdessen sind relevante Assistenzsysteme jeweils in den einzelnen betroffenen Handlungsfeldern als Technologiebausteine berücksichtigt worden. Demnach konnten insgesamt die folgenden Bausteine einer Smart Maintenance identifiziert werden:

- Sensorik
- Additive Fertigungsverfahren
- Mobile Geräte
- Blockchain-Technologie
- Biologisierung, Schwarmintelligenz
- Virtuelle und erweiterte Realität
- Künstliche Intelligenz, Maschinelles Lernen
- Cloud- und Webservices
- Soziale Netzwerke
- Predictive Maintenance

Nach der Identifizierung der Technologiebausteine wurden diese quantitativ bewertet. Diese Bewertung fand hinsichtlich der Bedeutung des jeweiligen Bausteins zur Realisierung der Zielvision Smart Maintenance statt. Darüber hinaus wurde der individuelle Reifegrad vom grundlegenden Forschungsbedarf bis hin zur vollständigen Marktreife durch die Mitglieder der Projektgruppe bewertet. Diese Bewertung erfolgte qualitativ im Rahmen der Projektgruppentreffen, indem die zu bewertenden Skalen zweidimensional visualisiert und die Bausteine entsprechend zugeordnet wurden.

Anschließend wurden die Bausteine den einzelnen Handlungsfeldern, für die sie einen entsprechenden Beitrag leisten, zugeordnet. Dabei wurden Mehrfachzuordnungen für Bausteine, die mehrere Bereiche beeinflussen, berücksichtigt. Einige Bausteine, die für alle Handlungsfelder relevant sind, wurden gesondert gefasst. Die Ergebnisse dieser Bewertung sind in Abbildung 18 dargestellt. Hier werden den aufgezeigten Handlungsfeldern die jeweils für sie relevanten Technologiebausteine zugeordnet. Diese wurden wiederum sowohl hinsichtlich ihrer gegenwärtigen Reife als auch bezüglich ihrer Bedeutung für die Realisierung einer Smart Maintenance bewertet, was durch die jeweilige Balkenausprägung veranschaulicht wird.

Außerdem werden im Folgenden Chancen und Risiken sowie Umsetzungsschwierigkeiten verschiedener Technologiebausteine, die aus der Unternehmensbefragung hervorgingen, aufgezeigt. So kann ein detailliertes Verständnis geschaffen werden, wie verschiedene Technologien gegenwärtig angewendet werden können und welche Hürden konkret überwunden werden müssen, damit diese Technologien in die Unternehmen integriert werden können. Damit ein kontinuierlicher Praxisbezug gewährleistet wird, werden im Rahmen der Ausführungen Best-Practice-Beispiele angeführt, die als repräsentativ für einen bereits erfolgreich in die Praxis integrierten Technologiebaustein zu verstehen sind.

67 | Vgl. Reichel et al. 2018, S. 47 f.

68 | Vgl. Brühl 2015, S. 206 f.

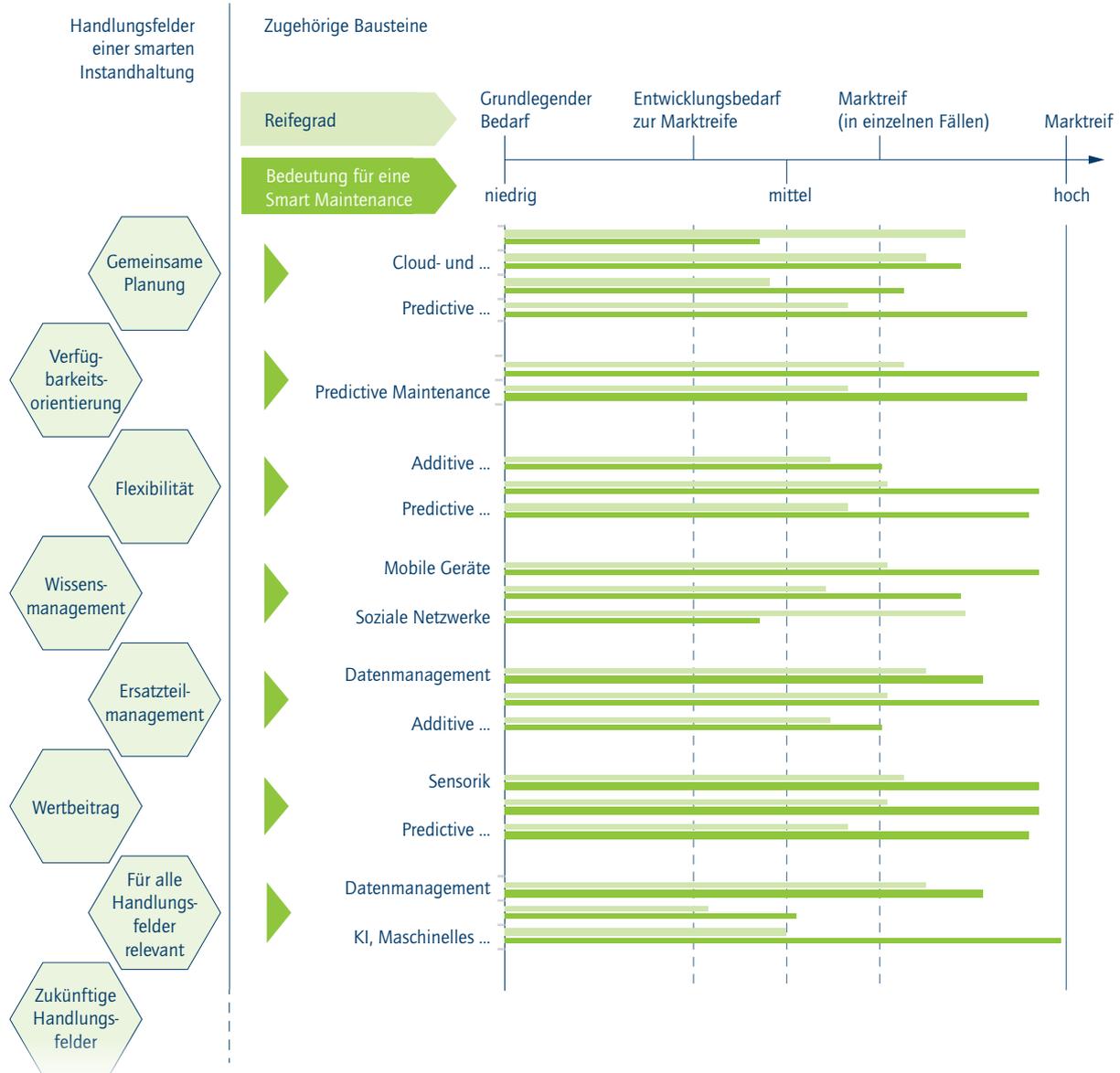


Abbildung 18: Handlungsfelder einer Smart Maintenance und zugehörige Technologiebausteine (Quelle: eigene Darstellung)

5.1 Gemeinsame Planung

Die Produktion sieht sich mit steigenden Anforderungen an Produktqualität, Leistungsfähigkeit und Lieferzeiten konfrontiert. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, ist sie auf eine ausgeprägte Prozessstabilität und eine hohe Anlagenverfügbarkeit angewiesen. Das Zusammenspiel aller Bereiche der Supply Chain – insbesondere zwischen Produktion und

Instandhaltung – bestimmt maßgeblich die Erfüllung dieser Anforderungen. In einem Arbeitspapier der Hans-Böckler-Stiftung wurde vor diesem Hintergrund die Integration von Instandhaltung und Produktion diskutiert, um auf diese Weise ein Unternehmen für die Anforderungen zu rüsten und geeignet aufzustellen. Die Autorenschaft warnte vor negativen Auswirkungen der heutzutage stattfindenden Priorisierung zwischen Instandhaltung und Produktion: Sollten Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund von Produktionserfordernissen



nicht ausreichend durchgeführt und die Instandhaltungsaktivitäten nicht an die Produktionsplanung angepasst werden, können Produktionsziele nicht oder nur teilweise erreicht werden, und die Instandhaltung wird insgesamt aufwendiger und kostspieliger.⁶⁹ Diese Warnungen konnten 2013 im „Maintenance Efficiency Report 2013“ von T. A. Cook bestätigt werden: 58 Prozent der befragten Unternehmen gaben in der Umfrage eine ungenügende Arbeitsplanung und eine damit einhergehende unzureichende Koordination der Gewerke/Abteilungen als Grund für Ineffizienz in der Instandhaltung an.⁷⁰ Das Handlungsfeld der gemeinsamen Planung entspricht in weiten Teilen der geforderten Integration beider Unternehmensbereiche und soll so die Bewältigung der Anforderungen ermöglichen. Aus diesen Erkenntnissen lässt sich folgende These ableiten:

- 1. Eine gemeinsame Planung anhand einer einheitlichen Entscheidungsgrundlage führt zu einem Überwinden von bisher isoliertem Bereichsdenken und ermöglicht ein ganzheitliches Optimum.**

Anwendungen von *Predictive Maintenance* zur Auswertung der Daten wurden innerhalb der Expertengruppe als Kernbestandteil der gemeinsamen Planung identifiziert und ihnen insgesamt eine wesentliche Bedeutung für eine Smart Maintenance zugewiesen. Dieser strategische Anwendungsbereich beschreibt eine zustandsorientierte Ausrichtung der Instandhaltung, die

vorausschauende Wartungen auf Grundlage von Echtzeitdaten statt reaktiver Instandsetzungsmaßnahmen nach Anlagenausfällen betreibt. Auch innerhalb des Arbeitspapiers der Böckler-Stiftung wurde darauf verwiesen, dass eine gemeinsame Planung die Sicherstellung von Predictive Maintenance hauptsächlich erst ermöglicht.

Auch im Zusammenhang mit den Umfrageergebnissen konnte eine klare positive Tendenz für die Bedeutung von Predictive Maintenance festgestellt werden (siehe Abbildung 19).

Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch andere Studien wie beispielsweise „Deutscher Industrie 4.0 Index 2018“ der Staufen AG: In dieser Studie wird „Predictive Analytics“ die größte Bedeutung für Industrie 4.0 neben „Smart Data“ zugesprochen – insgesamt 49 Prozent der Befragten betrachteten Predictive Analytics als eine der wichtigsten Technologien im Kontext von Industrie 4.0.⁷¹ Die Umsetzung von Predictive-Maintenance-Anwendungen wird dennoch als gegenwärtig noch nicht marktreif, sondern lediglich als in fortgeschrittener Entwicklung eingestuft.

Zur technologischen Unterstützung der gemeinsamen Planung von Instandhaltungsmaßnahmen und Produktion können neben den Anwendungen von Predictive Maintenance auch *soziale Netzwerke, Cloud- und Webservices* sowie *Blockchain* identifiziert werden. Diese Bausteine sind jedoch nicht gleichwertig bezüglich ihrer Marktreife, und auch in ihrer Bedeutung für Smart

Wie schätzen Sie das Potenzial (Aufwand-Nutzen) von Predictive Maintenance ein?
[1 = kein Potenzial ; 5 = hohes Potenzial]

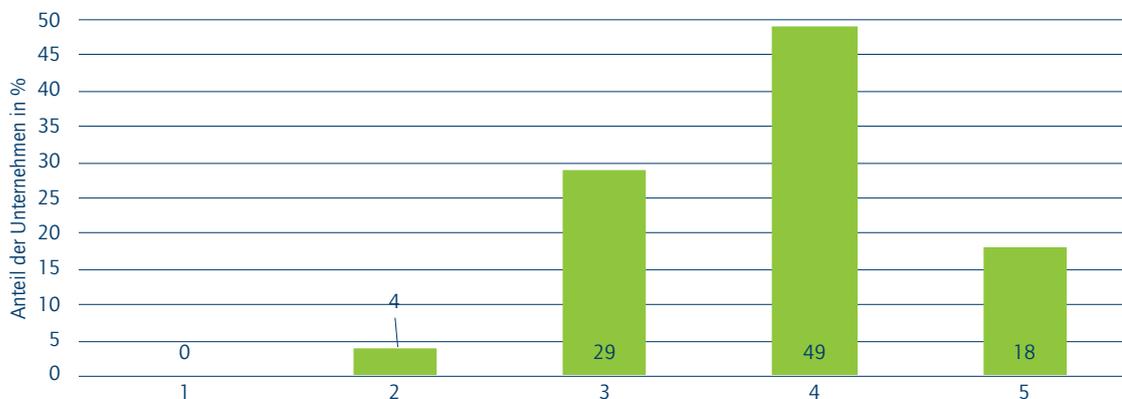


Abbildung 19: Potenzial der Nutzung von Predictive Maintenance (Quelle: eigene Darstellung)

69 | Vgl. Hans-Böckler-Stiftung 2003.

70 | Vgl. Maintenance Efficiency Report 2013, S. 8 ff.

71 | Vgl. Deutscher Industrie 4.0 Index 2018, S. 25.

Maintenance unterscheiden sie sich elementar. So wurde trotz ihres hohen Reifegrads die Bedeutung von sozialen Netzwerken höchstens mittelmäßig eingestuft. Mögliche Gründe hierfür werden im Abschnitt Wissensmanagement diskutiert.

Die Bedeutung der Blockchain-Technologie wurde im oberen mittleren Bereich eingeordnet. Für diese Technologie besteht allerdings weiterhin Entwicklungsbedarf, bevor sie flächendeckend in Unternehmen zum Einsatz kommen kann. So sind beispielsweise Geschwindigkeit und Größe der gespeicherten Datenpakete für eine Anwendung heute noch unzureichend. In einem Hintergrundpapier von Germanwatch e. V. werden diese Aspekte der Blockchain für die Nutzung von Transaktionen im (Energie-)Handel diskutiert, die Schwierigkeiten lassen sich allerdings auch auf Instandhaltung und Smart Maintenance übertragen. So wird besonders die mangelnde Geschwindigkeit der Datenübertragung thematisiert, die im Vergleich zu herkömmlicher Transaktionssoftware bis zu über 7000 Mal langsamer ist. Auch die Manipulierbarkeit von Daten ist nicht abschließend ausgeschlossen. Während Daten, die einmal

gespeichert wurden, nicht mehr veränderbar sind, besteht immer noch das sogenannte „Oracle-Problem“: Vor dem Hochladen der Daten kann auf diese zugegriffen und Veränderungen an ihnen können vorgenommen werden. Des Weiteren sind bisherige technische Lösungen eher darauf ausgelegt, Datenpakete schlank zu halten, um Transaktionen zu vereinfachen. Das Speichern großer Datenmengen mittels Blockchain ist bislang noch nicht ausreichend behandelt worden.⁷²

Cloud- und Webservices sind ähnlich wie die Blockchain-Technologie tendenziell als hochbedeutend eingestuft worden. Diese Anwendungen sind zumindest in einzelnen Fällen bereits marktreif. Problematisch bei dieser Technologielösung ist allerdings die Datensicherheit: In einer Studie des Fraunhofer IAO wurde 2012 festgestellt, dass 36 Prozent der befragten Unternehmen das Speichern von Unternehmensdaten in einer Cloud-Anwendung sehr kritisch sehen. Nur 17 Prozent gaben an, dass sie das Speichern tendenziell nicht als kritisch einstufen würden.⁷³

72 | Vgl. Germanwatch 2018.

73 | Vgl. Fraunhofer IAO 2012, S. 46.



Best Practice Gemeinsame Planung

BCAP Bilfinger Connected Asset Performance

Bilfinger Digital Next GmbH

Ziel: Optimierung und Kostenreduzierung im Betrieb von Prozessanlagen

Baustein: Cloud- und Webservices

Bilfinger Connected Asset Performance (BCAP) ist eine modular aufgebaute Digitalisierungslösung, die gerade mittelständischen Betreibern von Industrieanlagen einen einfachen und sicheren Zugang zu Digitalisierung ermöglicht. Kern der Lösung ist eine cloudbasierte Plattform, auf der alle Daten aus den Bereichen Engineering, Betrieb und Instandhaltung einer Industrieanlage zusammengeführt werden. Hierzu gehören beispielsweise Daten aus der Produktionsplanung oder von

Sensoren, die den Zustand einzelner Komponenten fortlaufend erfassen. Durch Verknüpfung und Analyse dieser Daten lassen sich neue und bessere Informationen zur Steuerung und zum Betrieb von Industrieanlagen gewinnen. Damit sind unter anderem potenzielle Störungen früher und zuverlässiger vorhersehbar und ungeplante Stillstandzeiten reduzierbar. Gleichzeitig erhöht sich die Effektivität der Gesamtanlage deutlich.

Best Practice Gemeinsame Planung

vote2work

MVCon InnovationLab GmbH

Ziel: Einsatzplanung unter Berücksichtigung der Interessen aller Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Baustein: Cloud- und Webservices

Es handelt sich hierbei um eine Plattform zur Terminorganisation, die allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern zur Verfügung gestellt wird. Die Plattform wird als App bereitgestellt und kann von allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern per Smartphone abgerufen und bedient werden. Innerhalb der Plattform können Einsatzplanungen sowie direkte Absprachen getroffen werden, sodass auch kurzfristige Termine angepasst

und bei der Zeitplanung die Präferenzen des Personals berücksichtigt werden können. Auch Datenimport und -export zur Pflege von Zeitkonten etc. ist möglich. Insbesondere wird die Einsatzplanung im Kundendienst angesprochen, da gleichzeitig bei der Planung Qualifikationen der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter berücksichtigt werden können.

Best Practice Gemeinsame Planung

Active Cockpit

Robert Bosch GmbH

Ziel: Verbesserung der Entscheidungsgrundlage zur gemeinsamen Planung

Baustein: Predictive Maintenance

Um eine gemeinsame Planung unabhängig von Erfahrungen zu gestalten, wurde ein Dashboard entwickelt, das anlagen-spezifische Kennzahlen abbildet. Dieses Dashboard ist variabel gestaltbar und gibt Kennzahlen wie beispielsweise OEE, Produktionsvolumen und Qualität in Echtzeit wieder.

Verschiedene Anlagenteile können gezielt ausgewählt werden, um die jeweiligen Detaildaten abzurufen. In täglichen gemeinsamen Meetings von Instandhaltung und Produktion können so vergangene Maßnahmen bewertet und neue geplant werden.

5.2 Verfügbarkeitsorientierung

Als zweites Handlungsfeld von Smart Maintenance wurde die Verfügbarkeitsorientierung identifiziert. Dieses Handlungsfeld beschäftigt sich mit der Sicherstellung der geforderten Verfügbarkeit von Produktionsanlagen. Es gilt hier, nach Bedarf der Produktion für jede Anlage eine geeignete Verfügbarkeitsrate zu identifizieren. Für sehr niedrige Stückzahlen kann dies eine geringe, für große Losgrößen eine sehr hohe Verfügbarkeitsrate bedeuten. Die tatsächliche Verfügbarkeit wird maßgeblich durch die getroffenen Instandhaltungs- und Wartungsmaßnahmen beeinflusst.⁷⁴ Die Instandsetzung einer Maschine, also die Wiederherstellung des Soll-Zustands, ist dabei oft mit deutlich höheren Kosten und Zeitaufwänden verbunden als Wartungsmaßnahmen, das heißt die Bewahrung des Soll-Zustands. Sofern jedoch nur eine geringe Verfügbarkeitsrate notwendig ist, ist eine reaktive Maßnahme mitunter wirtschaftlich sinnvoller. Um die reale Verfügbarkeitsrate bei großen Stückzahlen zu erhöhen, muss es hingegen das Ziel sein, die reaktiven Instandhaltungsmaßnahmen zu verringern. Stattdessen präventiv zu arbeiten, das heißt, in regelmäßigen Abständen vorsorglich Ersatzteile auszutauschen, reicht allerdings nicht aus. Eine Studie der ARC Advisory Group ergab, dass 82 Prozent aller Ausfälle zufällig und nicht nach regelmäßigem Muster stattfinden.⁷⁵ Ein vorher bestimmter Turnus zur Durchführung von Wartungsmaßnahmen ist somit nicht wirtschaftlich. Für dieses Handlungsfeld gilt demzufolge:

2. Die Erhebung und Auswertung einer umfassenden Datengrundlage ist essenziell zur Gewährleistung einer bestmöglichen Verfügbarkeitsorientierung.

Eine angemessene Verfügbarkeit kann also nur durch eine zustandsorientierte Instandhaltung auf Grundlage von Echtzeitdaten erreicht werden. Die Entscheidung, welche Maßnahmen getroffen werden, kann dann auf dieser Grundlage getroffen werden.

Als Ausgangspunkt für notwendige Technologien für die Realisierung einer zustandsorientierten Instandhaltung konnten die Bausteine *Predictive Maintenance* und *Sensorik* identifiziert werden. Es fällt auf, dass Predictive Maintenance bereits dem vorherigen Handlungsfeld zugewiesen war. Dieses Ergebnis ist aufgrund des umfassenden Anwendungsgebiets von Predictive Maintenance allerdings wenig verwunderlich. Immerhin wurde dieser Baustein nachfolgend zwei weiteren Handlungsfeldern

zugeteilt. Diese Ergebnisse bestätigen noch einmal bisherige Einschätzungen, die Predictive-Maintenance-Verfahren als eine Kernkomponente der Smart Maintenance betrachten.

Die Umfrage ergab ferner, dass der größte Mehrwert von Predictive Maintenance im Handlungsfeld der Verfügbarkeitsorientierung lokalisiert wird: Insgesamt 46 Prozent aller Befragten gaben an, dass sie den Nutzen direkt in der erhöhten Planbarkeit sehen, welche eine Optimierung der Verfügbarkeit ermöglicht. 30 Prozent der Befragten nannten diesen Vorteil der Anlagenverfügbarkeit direkt als wichtigsten Faktor (siehe Abbildung 20).

Bestätigt werden diese Ergebnisse auch durch eine Studie des VDMA und der Roland Berger GmbH. Bei der zugehörigen Umfrage schätzten 79 Prozent der Befragten leistungssteigernde Aspekte von Predictive Maintenance wie erhöhte Anlagenverfügbarkeit (33 Prozent), erhöhte Prozessqualität (18 Prozent) und verbesserte Planung (12 Prozent) als am meisten nutzbringend ein.⁷⁶

Worin sehen Sie in Ihrem Unternehmen den größten Nutzen von Predictive Maintenance?

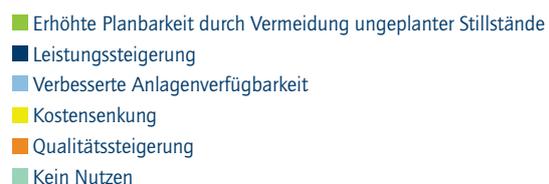
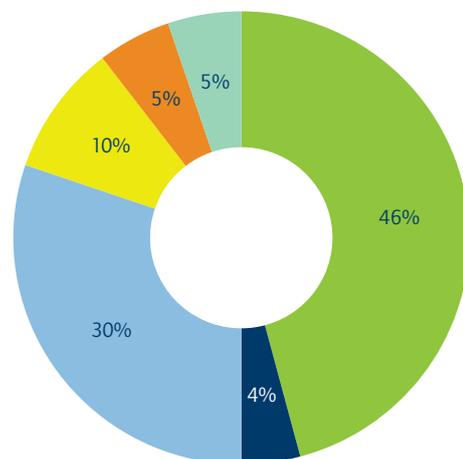


Abbildung 20: Nutzen von Predictive Maintenance (Quelle: eigene Darstellung)

74 | Vgl. Leidinger 2014, S. 21 ff.

75 | Vgl. ARC Advisory Group 2015.

76 | Vgl. VDMA/Roland Berger 2017.



Technische Unterstützung kann in diesem Handlungsfeld mittels Sensorik geleistet werden. Die Technologie der Sensorik liefert die benötigten Echtzeitdaten, um ein softwarebasiertes System zur Auswertung und Bewertung der Anlagen sowie der erforderlichen Verfügbarkeitsrate zu implementieren und zu nutzen. Im Sinne des Bausteins Sensorik werden weitere Anwendungen des Condition-Monitorings verstanden. Dieses Konzept zur Prozess- und Anlagenüberwachung wird als softwarebasierte Lösung realisiert, um die durch Sensoren gesammelten Daten zu visualisieren und zu bündeln. Ein solches Programm ist demzufolge grundlegend, um mit Sensoren und damit gesammelten Daten arbeiten zu können.

Der Technologiebaustein der Sensorik, ob in Form von Barcodes, Microchips oder Farb- und Bildsensoren, ist somit eine Grundlage zur Verwirklichung von Predictive Maintenance. Denn ohne eine geeignete Aufbereitung und Sammlung von Daten können diese nicht für Predictive Analytics genutzt werden. Die Bedeutung der Sensorik für Smart Maintenance wird somit auch minimal höher als die der Predictive Maintenance bewertet. Beide Komponenten stellen also ganz wesentliche Elemente der Smart Maintenance dar. Dennoch ist auch für die Technologie der Sensorik bisher nur in vereinzelten Fällen Marktreife festzustellen. Hinzu kommt, dass „umso enger die [technischen] Vorgaben [...] sind, umso wahrscheinlicher ist es, dass am Markt verfügbare Lösungen für die Anwendung nicht in Frage kommen und eine Neuentwicklung nötig ist“.⁷⁷ Hier gilt es somit, geeignete technologische Systeme für die breite Anwendung zu entwickeln und Unternehmen eine geeignete Methode zur Auswahl und Implementierung von Sensortechnologien zur Verfügung zu stellen.

5.3 Flexibilität

Ein wesentliches Charakterisierungsmerkmal der Smart Factory ist das Streben nach einer Losgröße 1. Die Vision, Sonderfertigung zu Serienkosten zur Regel zu machen,⁷⁸ erfordert neben einer engen Verzahnung von Unternehmensprozessen ein besonders hohes Maß an Flexibilität. Die Ausrichtung von Produktionsprozessen und Anlagen auf Flexibilität reicht jedoch allein nicht aus. Das engere Zusammenspiel von Instandhaltung und Produktion (unter anderem durch gemeinsame Planung) bietet geradezu, auch die Instandhaltungsaktivitäten flexibler zu gestalten, um den neuen Anforderungen gerecht zu werden.

3. Durch den gezielten Einsatz von digitalen Werkzeugen kann der Grad an Flexibilität sowohl auf dem Shopfloor als auch in der Instandhaltung erheblich gesteigert werden.

Technologiebausteine, die zur Erreichung eines höheren Flexibilitätsgrads in der Instandhaltung dienen, sind *Predictive Maintenance*, *additive Fertigungsverfahren* und *mobile Geräte*. Dass sich die Umsetzung des strategischen Anwendungsgebiets Predictive Maintenance auch auf die Flexibilität auswirkt, scheint selbstverständlich. Denn Aspekte wie beispielsweise verbesserte Anlagenverfügbarkeit und mehr Planungsfreiheit für Instandhaltungsaktivitäten führen langfristig auch zu höherer Flexibilität.

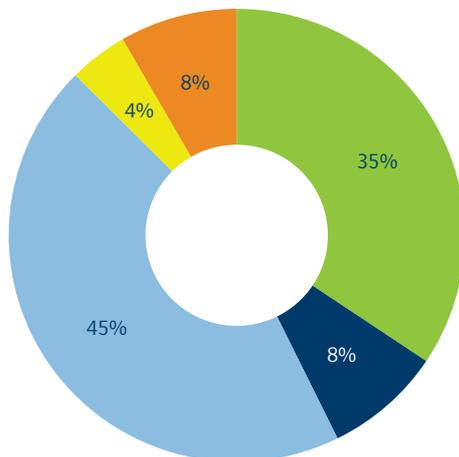
Additive Fertigungsverfahren werden allgemein besonders im Kontext von Produktion betrachtet. Gerade wenn es um Losgröße 1 geht, sind diese Verfahren immer ein viel diskutiertes Thema. Doch auch die Bedeutung additiver Fertigungsverfahren für Smart Maintenance ist im oberen mittleren Bereich einzuordnen. Werden die Verfahren im Ersatzteilmanagement eingesetzt, kann so unter anderem die Verringerung von Lieferzeiten erreicht werden. Auch die individuelle Erstellung sehr spezieller oder komplexer Ersatzteile ist auf diese Weise möglich. Bei einem plötzlichen Ausfall kann so die Wartezeit bis zur Wiederherstellung der Anlagenverfügbarkeit deutlich reduziert werden. Auch Wartungszeitpunkte können flexibler gelegt werden, sofern benötigtes Material selbst erstellt werden kann und keine Lieferzeit beachtet werden muss.

Mobile Geräte haben wie Predictive Maintenance eine sehr hohe Bedeutung für die Smart Maintenance. Mithilfe von Mobilgeräten können Informationen von jedem jederzeit und an jedem Ort zur Verfügung gestellt werden. Grafiken, Bilder oder Erklärungen können von überall aus übermittelt werden. Auch der Zugang zu den Informationen der CPS kann an jeder Stelle durch entsprechende Sicherheitszertifikate über solche Geräte erfolgen. Zusätzlich zu diesen technischen Aspekten werden vor allem Vorteile in der Vernetzung von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern gesehen. Kommunikation kann deutlich schneller erfolgen, und neue Arbeitstechniken können entwickelt werden. Auch die Kommunikation zwischen Instandhaltung und Produktion kann von dieser Vernetzung profitieren, und aktuelle Informationen und Anweisungen können jederzeit ausgetauscht werden. Gleichzeitig bieten Mobilgeräte durch Nutzung unterschiedlicher Software vielfältige

77 | VDMA/KIT 2018, S. 8.

78 | Vgl. Deutscher Industrie 4.0 Index 2018, S. 36–37.

Worin sehen Sie den größten Nutzen beim Einsatz mobiler Endgeräte (z. B. Tablet, Smartphone) in der Instandhaltung?



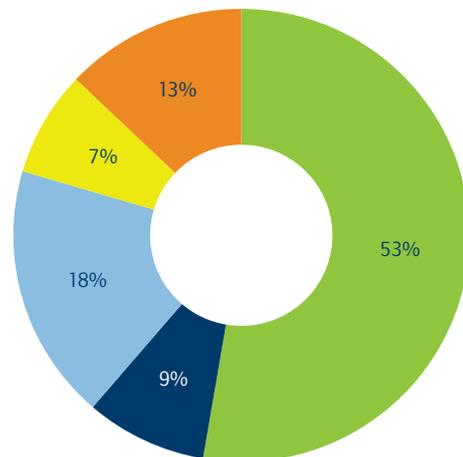
- Bessere Dokumentation der Arbeiten
- Kontrolle der Durchführung
- Nutzerunterstützung bei der Durchführung
- Bessere Zuweisung/Zuordnung von Aufträgen
- Sonstiges

Abbildung 21: Nutzung von mobilen Endgeräten
(Quelle: eigene Darstellung)

Einsatzmöglichkeiten, was sie für den Einsatz in nahezu allen Unternehmen prädestiniert: Über die Hälfte der befragten Unternehmen einer Studie des Fraunhofer IAO gab an, dass die eigenen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter mobile Endgeräte zukünftig im Arbeitsalltag nutzen sollen. Nur knapp 19 Prozent äußerten, dass mobile Kommunikationstechnik im eigenen Unternehmen nicht zum Einsatz kommen soll.⁷⁹

Neben diesen allgemeinen Aspekten sehen die befragten Unternehmen den größten Mehrwert für Smart Maintenance in der Unterstützung der Nutzer (siehe Abbildung 21), das heißt der Unterstützung von „Experten on Site“ (45 Prozent). Außerdem bieten mobile Endgeräte eine bessere Möglichkeit zur Dokumentation der Arbeiten (35 Prozent). Insbesondere das Wissensmanagement und die Datenerhebung lassen sich durch diese Geräte also sehr einfach und flexibel unterstützen.

Worin sehen Sie die größte Hürde des 3D-Drucks im Ersatzteilmanagement?



- Mangelnde Sicherheit durch gedruckte Teile (Haftung)
- Mangelnde Datensicherheit
- Mangelndes Kosten/Nutzen-Verhältnis
- Ich sehe keine Hürden
- Sonstiges

Abbildung 22: Hürden zur Nutzung des 3D-Drucks im Ersatzteilmanagement (Quelle: eigene Darstellung)

Die aktuelle Nutzung additiver Fertigungsverfahren ebenso wie mobiler Endgeräte bleibt allerdings noch hinter den Erwartungen zurück; dies liegt insbesondere daran, dass für beide Technologien kein hoher Grad an Marktreife besteht. Während für mobile Endgeräte – im privaten Gebrauch mittlerweile nicht mehr wegzudenken – erst wenige gute Lösungen für den Betriebsalltag bestehen. Hinzu kommen Hürden wie fehlende Internetverbindungen an den Produktionsanlagen, wie im Rahmen der Status-quo-Ermittlung festgestellt wurde. Für den flächendeckenden Gebrauch additiver Fertigungsverfahren wurde sogar noch ganz allgemeiner Entwicklungsbedarf festgestellt. Lösungen additiver Verfahren sind somit heutzutage bereits einzeln zu erwerben und können auch in Teilbereichen bereits eingesetzt werden. Doch gerade die unzureichende Sicherheit wurde von den befragten Unternehmen bemängelt. Außerdem wurden unter sonstigen Angaben häufig Probleme mit dem verfügbaren Material wie beispielsweise Konformität oder fehlende Eigenschaften genannt (siehe Abbildung 22).



5.4 Wissensmanagement

„Erfolgsfaktor Nummer eins ist nach Überzeugung der Befragten der gezielte Aufbau von Kompetenzen.“⁸⁰ Noch wichtiger als ein sehr guter Umgang mit Prozessen („Erfolgsfaktor Nummer zwei“) ist also ein zielgerichtetes Wissensmanagement für Wissenserhalt und Kompetenzentwicklung der Mitarbeiterschaft. Nichtsdestotrotz konnte bezüglich des Status quo festgestellt werden, dass nur wenige Unternehmen ein ganzheitliches Wissensmanagement implementiert haben und auch die gezielte Weiterbildung von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern nur in geringem Maße verfolgt wird. In Bezug auf dieses Handlungsfeld lässt sich somit Folgendes festhalten:

4. Ein ganzheitliches Wissensmanagement gehört zu den entscheidenden Erfolgsfaktoren einer Smart Maintenance und wird hauptsächlich durch die Überführung von individuellem zu digitalisiertem Wissen erreicht.

Eine Erklärung hierfür kann das Fehlen praktikabler und verfügbarer Lösungen sein. Das Wissensmanagement selbst stellt einen eher abstrakten oder auch gegenstandslosen Bereich der Smart Maintenance dar. Das spiegelt sich auch in den

Bausteinen wider, die diesem Handlungsfeld zugeordnet werden konnten. *Mobile Geräte, VR/AR* sowie *soziale Netzwerke* wurden als Komponenten identifiziert, die in den Bereich der Datenverarbeitung und -visualisierung einzuordnen sind. Letztere wurden im Rahmen der Bausteinbewertung zwar als marktreif klassifiziert, jedoch mit einer verhältnismäßig geringen Bedeutung für die Realisierung einer Smart Maintenance.

Diese Einschätzung wird durch die Ergebnisse der Unternehmensbefragung untermauert. Gegenwärtige Plattformen wurden nach ihrer Praxistauglichkeit eingeordnet – nur eine von fünf erreichte dabei einen Mittelwert größer drei und ist damit tendenziell praxistauglich. Alle anderen vier sozialen Plattformen wurden als eher untauglich zur Implementierung einer Wissensplattform auf ihrer Grundlage eingeschätzt (siehe Abbildung 23). Dabei stellen Plattformen nach aktuellem Stand die einfachste und beste Lösung zur Implementierung eines umfassenden Wissensmanagements dar. Mittels Plattformen können Daten, Artikel, Prozesse und Anleitungen gleichermaßen jedem zur Verfügung gestellt werden. Um also nun die Lücke des fehlenden Wissensmanagements zu schließen, bedarf es vor allem einer

Wie praxistauglich sehen Sie die Implementierung einer Wissensplattform?
[1 = nicht sinnvoll; 5 = sehr sinnvoll]

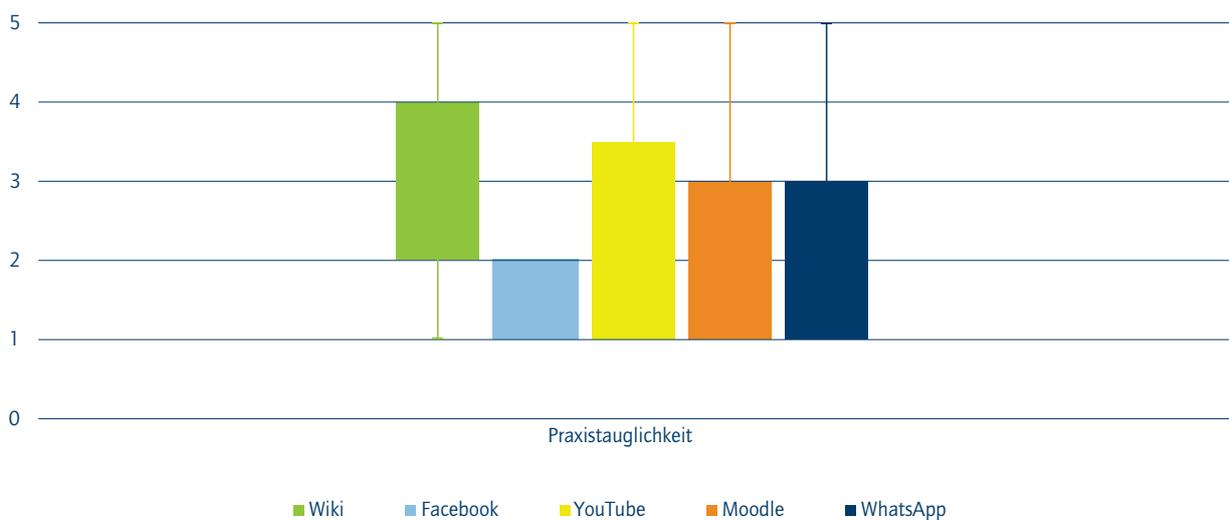
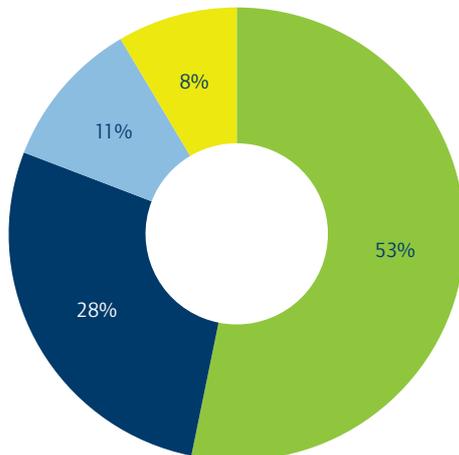


Abbildung 23: Praxistauglichkeit von Wissensplattformen (Quelle: eigene Darstellung)

Worin sehen Sie den größten Nutzen von Virtual Reality?



- Für Schulungszwecke („Fehler machen ohne Kosten“)
- Für Planungszwecke (Modellentwicklung)
- Ich sehe keinen Nutzen.
- Sonstiges

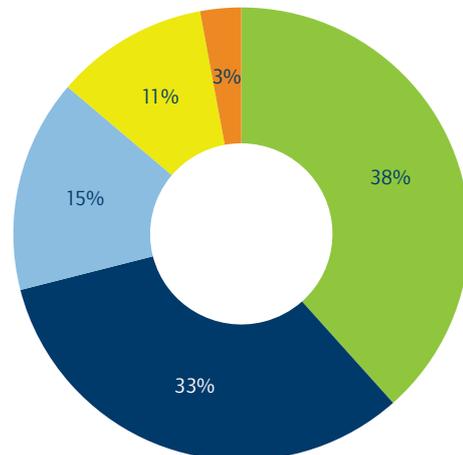
Abbildung 24: Nutzen von Virtual Reality
(Quelle: eigene Darstellung)

technologischen Lösung für Plattformen, damit diese in Unternehmen genutzt werden können.

Während soziale Netzwerke als tendenziell unbedeutend für Smart Maintenance eingestuft wurden, wurden mobile Endgeräte und VR/AR als wichtig erachtet – mobile Geräte insgesamt sogar noch als deutlich wichtiger als die Anwendung von VR/AR. Für das Handlungsfeld Wissensmanagement bieten jedoch gerade Technologien auf Basis von VR/AR großes Potenzial.

So wird der Nutzen virtueller Realität besonders im Bereich von Mitarbeiterschulungen gesehen. Insgesamt 53 Prozent der befragten Unternehmen betrachten diesen Faktor als am vielversprechendsten (siehe Abbildung 24).

Worin sehen Sie den größten Nutzen von AR?



- Zeitliche Optimierung der Wartungsarbeiten
- Verkürzung und Vereinfachung des Anlernprozesses in der Instandhaltung
- Kostenreduktion durch Einsatz von AR anstelle von klassischen Schulungen
- Kein Nutzen
- Sonstiges

Abbildung 25: Nutzen von Augmented Reality
(Quelle: eigene Darstellung)

Währenddessen wird Augmented Reality eher als nützlich für Wartungs- und Instandhaltungsprozesse selbst gesehen. Durch die technische Möglichkeit, „Experts on Site“ zu haben, können mithilfe dieser Technologie spezifische Wartungsarbeiten durch Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zeitlich verkürzt und die Qualität der Arbeiten gleichzeitig gesteigert werden. So sehen 38 Prozent der befragten Unternehmen zeitliche Optimierung als den am meisten nutzbringenden Faktor. Auch in der Tatsache, dass unerfahrene Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter mit Unterstützung direkt an der Maschine eingewiesen werden können, in der daraus resultierenden kürzeren Anlernphase sowie in den damit einhergehenden spezifischen Schulungsmöglichkeiten sehen insgesamt 48 Prozent der befragten Unternehmen einen Mehrwert (siehe Abbildung 25).



Best Practice Wissensmanagement

Industrial Tube

Bilfinger

Ziel: Unterstützung des Personals vor Ort

Baustein: Soziale Netzwerke/Cloud- und Webservice

Industrial Tube ist eine internetbasierte Videoplattform. Auf dieser finden Fachleute Videos, die industrielle Aufgaben und deren einzelne Arbeitsschritte visualisieren. Die Videos können mithilfe eines Smartphones oder einer Datenbrille sowie der Industrial Tube App selbst erstellt werden. Anhand integrierter Vorlagen gibt die App ein Drehbuch vor, mit dem die Anwenderinnen und Anwender schrittweise passende Aufnahmen machen können. Die einzelnen Arbeitsschritte werden dabei von der Mitarbeiterin beziehungsweise vom Mitarbeiter währenddessen kommentiert. Im Anschluss überträgt die App

das Videomaterial in die Cloud von Industrial Tube, wo es nach einem standardisierten Prozess automatisch zu einem fertigen Video zusammengefügt wird. Basierend auf Künstlicher Intelligenz erstellt das System zudem mehrsprachige Untertitel sowie Schlüsselwörter, die dafür sorgen, dass das Video mittels Stichwortsuche im Web-Portal von Industrial Tube gefunden und geteilt werden kann. Die Lösung ist nicht auf den Einsatz in der Prozessindustrie beschränkt und kann auch in anderen Industrien eingesetzt werden.

Best Practice Wissensmanagement

Virtueller Pumpentrainingsstand

Evonik Technology & Infrastructure GmbH

Ziel: Zeit- und ortsunabhängiges Training der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Baustein: Virtual Reality

Schadensanalysen haben ergeben, dass viele Pumpen in der Prozessindustrie durch falsche Fahrweise beziehungsweise Bedienung beschädigt werden. Um dem entgegenzuwirken und gleichzeitig keine realen Pumpen für ein Training anschaffen zu müssen, wurde auf einer Gaming-Engine ein physisches Training in Form eines Ego-Shooters erstellt. Diese Anwendung ermöglicht es, Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

ohne Beschädigung realer Anlagen zu schulen, und ist gleichzeitig nicht aufgrund eines Ausbilders orts- oder zeitgebunden. Die Sprache kann angepasst werden, sodass die jeweiligen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter selbst eine Sprache, die sie verstehen, auswählen können. Somit ist die Reichweite des Trainings auch in international agierenden Unternehmen nicht beschränkt.

5.5 Ersatzteilmanagement

Wie im Rahmen der Bestimmung des Status quo bereits festgestellt, dient das Ersatzteilmanagement als Grundlage für eine funktionierende Instandhaltung. Um den wachsenden Anforderungen an die Instandhaltung gerecht zu werden, muss also auch das Ersatzteilmanagement berücksichtigt werden. Ein antizipiertes Ersatzteilmanagement begünstigt und ermöglicht unter anderem den Grad der Flexibilität innerhalb der Instandhaltung. Eine Verknüpfung des Ersatzteilmanagements mit den softwarebasierten Lösungen der anderen Handlungsfelder ist somit unumgänglich:

5. Ein flexibles Ersatzteilmanagement ist für die Realisierung einer Smart Maintenance essenziell und wird mithilfe einer umfassenden Datengrundlage erreicht.

Als Technologiekomponenten, die das Handlungsfeld des Ersatzteilmanagements prägen, konnten Datenmanagement, *additive Fertigungsverfahren* und *mobile Geräte* identifiziert werden. Im Folgenden wird Datenmanagement ebenso als ein derartiger Baustein deklariert, der für alle Handlungsfelder relevant ist. Er ist hier explizit aufgeführt, da gerade dieses Handlungsfeld in Zukunft stark von einem funktionierenden Datenmanagement abhängig sein wird. Außerdem existieren zum heutigen Zeitpunkt besonders in diesem Handlungsfeld große Potenziale, sodass mithilfe von Anwendungen des Datenmanagements mit geringem Aufwand und in kurzer Zeit sehr gute Ergebnisse, die sich auf die gesamte Instandhaltung auswirken, erzielt werden können.

Mehrwerte, die durch eine softwarebasierte Unterstützung des Ersatzteilmanagements generiert werden, liegen auf der Hand: Entscheidungen können schneller getroffen, Zusammenhänge zwischen einzelnen Kenngrößen von Programmen besser erkannt sowie größere Datenmengen in der Planung berücksichtigt werden. Ferner ist die Planung dank statistischer Risikoanalysen oftmals genauer. Bessere Planungen der Instandhaltungsmaßnahmen und Ersatzteilbestände führen bereits kurzfristig zu deutlichen Kosteneinsparungen.

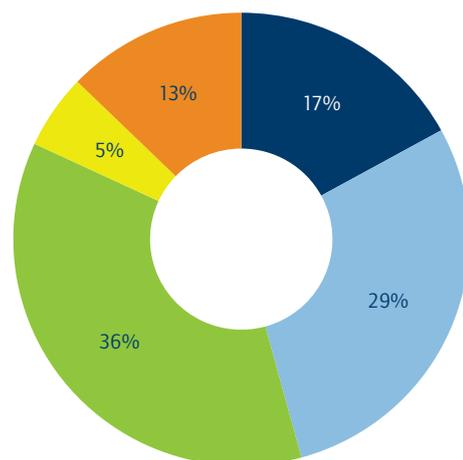
Ein Programm zur statistischen Auswertung benötigt hierfür eine große Menge an Historien- und Maschinendaten, um zuverlässig und effizient arbeiten zu können. Andernfalls besteht die Gefahr, dass durch unvollständige und inkonsistente Daten falsche Ergebnisse zu einem zu hohen oder zu niedrigen Bestand führen, welcher sich in hohen Ausfall- oder Lagerkosten widerspiegelt. Dem Datenmanagement wurde aus diesem

Grund auch bei der Zuordnung zu den Handlungsfeldern eine wesentliche Bedeutung für Smart Maintenance zugeschrieben. Auch der Reifegrad der dafür notwendigen Maßnahmen und Verfahren ist teilweise schon erreicht. Hier gilt es, den aktuellen Nutzungsgrad verfügbarer ERP-Systeme von 47 Prozent und die Digitalisierung vorhandener Daten weiter auszubauen, um softwarebasierte Lösungen nutzen zu können.

Insbesondere die Nutzung mobiler Endgeräte in Kombination mit geeigneter Software zur Datenverarbeitung könnte mit einfachen Mitteln große Veränderungen im Ersatzteilmanagement anstoßen. So können beispielsweise mit QR-Codes ausgestattete Regalabschnitte, die mit Smartphones gescannt werden, die Eingabe des aktuellen Bestands, des in diesem Abschnitt gelagerten Materials und deren Übertragung an eine zentrale Verwaltungssoftware vereinfachen. Auch die Reduzierung von Fehlern oder Verlust von Daten kann durch das Wegfallen der zwischenmedialen Übertragung von Papier an ein Programm erreicht werden.

Neben Verfahren für ein effizientes Datenmanagement sind jedoch auch mobile Geräte nur vereinzelt nutzbar. Insbesondere die Datenverbindung der Geräte, die bereits im obigen Abschnitt

Worin sehen Sie den größten Nutzen von 3D-Druck im Ersatzteilmanagement?



- Verringerte Lagerbestände
- Kürzere Beschaffungszeiten
- Druck von nicht mehr beschaffbaren Ersatzteilen
- Ich sehe keinen Nutzen.
- Sonstiges

Abbildung 26: Nutzen von 3D-Druck im Ersatzteilmanagement (Quelle: eigene Darstellung)



kritisch betrachtet wurde, spielt hier eine Rolle. Des Weiteren wird die Empfindlichkeit vieler Geräte, die aktuell zumeist noch auf den privaten Gebrauch ausgerichtet sind, als Hürde genannt.⁸¹

Weiteren Entwicklungsbedarf weisen ebenfalls additive Fertigungsverfahren auf. Auch die befragten Unternehmen

sahen in der Technologie des 3D-Drucks den größten Vorteil für das Ersatzteilmanagement darin, dieses durch verringerte Lagerbestände und kürzere Beschaffungszeiten zu optimieren (46 Prozent). Als zweiter Aspekt wurde die Verfügbarkeit spezieller oder nicht mehr frei verkäuflicher Ersatzteile genannt (36 Prozent) (vgl. Abbildung 26).

Best Practice Ersatzteilmanagement

Digital Twin für Typenschilder „i-Qui“

Evonik Technology & Infrastructure GmbH

Ziel: Digitale Aufschlüsselung aller genutzten Anlagenbestandteile

Baustein: Datenmanagement

Digitalisierte Prozesse erfordern eindeutige Daten, an denen festgemacht werden kann, welcher Bestandteil an genau welcher Stelle einer Anlage verbaut ist. Das ist notwendig, um Daten, die von den Anlagen und Bestandteilen gesammelt werden, einwandfrei zuordnen zu können, damit eine Analyse nicht verfälscht und infolgedessen eine falsche Informationsgrundlage geschaffen wird. Darum wurde hier für

jedes Bauteil ein digitaler Zwilling erstellt. Da eine eindeutige Zuordnung nur durch manuelles Erfassen möglich ist, wurden die realen Bauteile mit einem Typenschild versehen, welches per App erfasst werden kann. Nach der Erfassung können die digitalen Zwillinge der Bestandteile nun mittels Künstlicher Intelligenz zugeordnet werden.

Best Practice Ersatzteilmanagement

ERBORAS

Fraunhofer IML

Ziel: Ermittlung der optimalen Ersatzteilbestände unter Risikoaspekten

Baustein: Datenmanagement

Bei ERBORAS handelt es sich um eine softwarebasierte Methode in Excel oder SAP zur Berechnung des optimalen Lagerbestands einzelner Ersatzteile. Dazu werden für jedes Ersatzteil die Lagerungskosten und die voraussichtlichen Kosten bei einem Anlagenausfall, sollte kein Ersatzteil vorrätig sein, sowie die Verschrottungskosten berechnet. Unter Berücksichtigung der Ausfallwahrscheinlichkeiten und der damit verbundenen Risiken wird auf Basis optimaler Kosten

eine Entscheidungsempfehlung zur Beschaffung und Lagerung für jedes Material und Werk abgegeben. Hierbei kann auch zwischen neuen und schon bestehenden Anlagen differenziert werden, sodass das Programm automatisch Daten einer bestehenden Anlage zur Berechnung der Kosten einfließen lässt. Diese Daten werden während der Anlagenutzung kontinuierlich erhoben und abgeglichen, sodass die Prognosen stetig verbessert werden.

81 | Vgl. Trovarit 2018.

5.6 Wertbeitrag

Wie eingangs angemerkt, wird die Instandhaltung oft als notwendiges Übel und „Kostenfalle“ gesehen. Diese Bewertung ist insofern zu relativieren, als durch eine intelligente Instandhaltung Produktionsanlagen verbessert, Kosten gesenkt und Umsätze gesteigert werden können. Es bedarf hier also eines Umdenkens, um die Instandhaltung vielmehr als wertsteigernd und kostenvermeidend wahrzunehmen. Die mit den Veränderungen in den anderen Handlungsfeldern einhergehende Datenerfassung ermöglicht auch für diesen Bereich die Nutzung von Controlling-Instrumenten, die die folgende Erkenntnis ermöglichen:

- 6. Durch die geeignete Erfassung bereichsübergreifender Kennzahlen wird die Instandhaltung zukünftig mehr als wertschöpfender denn als kostenverursachender Faktor angesehen.**

Damit in einer Smart Maintenance diese Wertsteigerung tatsächlich auch erbracht werden kann, bedarf es einiger technologischer Voraussetzungen zur Planung und Umsetzung der Instandhaltungsmaßnahmen. Dem Handlungsfeld Wertbeitrag wurden darum die Technologiebausteine *Sensorik*, *mobile Geräte* und *Predictive Maintenance* zugewiesen.

Wie in den vorherigen Abschnitten bereits beschrieben, stellen diese Bausteine einen großen Teil der technologischen Grundlage für Smart Maintenance dar. Nur durch die gezielte Verwendung solcher Technologien wird die Instandhaltung in der Lage sein, den Anforderungen der Produktion und der Anlagen gerecht zu werden.

Damit dieser Wertbeitrag schlussendlich visualisierbar und damit vergleichbar ist, um auf diese Weise eine Veränderung nachzuvollziehen oder die Akzeptanz von Umbrüchen beim

Personal zu begünstigen, müssen Kennzahlen erfasst werden. Auch verschiedene Softwareanwendungen für Predictive Maintenance erfordern bestimmte Kennzahlen als Dateneingabe, um bestimmte Funktionen zur Verfügung stellen zu können. Die Technologien von Sensorik und Mobilgeräten können hier einen wesentlichen Beitrag leisten, Kennzahlen kontinuierlich und standardisiert zu erheben. Wichtige Kennzahlen, die hierfür nach DIN-Norm eine Rolle spielen, sind beispielsweise der Beitrag der Instandhaltung zur Verbesserung der Nachhaltigkeit (mögliche Kennzahl: jährlich aufgewandte Kosten für die Instandhaltungsressourcen zur Verbesserung der Nachhaltigkeit) und die betriebliche Verfügbarkeit aufgrund der Instandhaltung (mögliche Kennzahl: erreichte verfügbare Zeit, in der die technische Norm einer Anlage erfüllt wird). Ferner sollten Instandhaltungskosten für die verfügbare Betriebszeit (mögliche Kennzahlen: Gesamtkosten und/oder Stunden der betrieblichen Verfügbarkeit) erfasst und kontextbezogen beurteilt werden. Aber auch Kennzahlen, die etwa die Kompetenzen des Personals berücksichtigen, wie zum Beispiel abgeschlossene Aus-/Weiterbildungen und Schulungen der Instandhaltungstechnikerinnen und -techniker, sollten demnach berücksichtigt werden, ebenso wie die Auswirkung der Einhaltung von Normen und Gesetzen sowie die Anschaffung bestimmter Maschinen oder Ersatzteile.⁸² Durch diese ganzheitliche Betrachtung wird gewährleistet, dass die Wirkungen einzelner Maßnahmen nachverfolgt werden können und auch positive Effekte festgehalten und wahrgenommen werden.

Im Rahmen der Unternehmensbefragung konnte bezüglich des Status quo festgestellt werden, dass die Erhebung von Kennzahlen in den meisten Fällen noch nicht ausreichend stattfindet. Ihre Erfassung wäre somit ein erster Schritt, um die Akzeptanz im Unternehmen für Entwicklungen und Veränderungen in der Instandhaltung zu schaffen und einen realen Wertbeitrag der Instandhaltung für das Unternehmen realisierbar zu machen.



Best Practice Wertbeitrag

Maintenance Support System (MSS)

Robert Bosch GmbH

Ziel: Steigerung der Effizienz durch mobile Dokumentation
Baustein: Mobile Geräte

Es handelt sich hierbei um ein Modul aus dem „Nexeed MES“-Portfolio, das in Verbindung mit SAP und weiteren MES-Modulen eingesetzt werden kann. Mittels Smartphone und QR-Code wird eine direkte Verbindung zu dem hinterlegten technischen Platz und dem Equipment hergestellt. Instandhaltungspersonal sowie

Maschinenbedienerinnen und -bediener können mittels MSS auf Instandhaltungsbezogene Funktionen im ERP-System zugreifen und Tickets erstellen, Zeiten melden, Ersatzteile reservieren und Schäden sowie zugehörige Maßnahmen dokumentieren. Zukünftig wird außerdem eine Remote-Funktion verfügbar sein.

5.7 Für alle Handlungsfelder relevant

Bei der Bewertung der einzelnen Bausteine wurden insgesamt drei allen Handlungsfeldern zugeteilt. Es handelt sich hierbei um *Datenmanagement*, *Biologisierung* und *KI/Maschinelles Lernen*. Diese Bausteine sind so grundlegend und umfassend, dass sie jedes Handlungsfeld beeinflussen und für die Umsetzung der gesamten Smart Maintenance entscheidend sind.

Die Bewertungen hinsichtlich Reifegrad und Bedeutung unterscheiden sich bei diesen drei Bestandteilen grundlegend. So ist Datenmanagement als ein Baustein hoher Bedeutung einzustufen, und auch die Anwendbarkeit ist für diese Verfahren und Maßnahmen teilweise schon gegeben. Biologisierung hingegen ist eine mittlere Bedeutung zuzuschreiben, wobei dieses Technologiefeld unter den drei Bausteinen am wenigsten ausgereift ist; das liegt vor allem daran, dass diese Entwicklung noch deutlich jünger ist als die Digitalisierung als solche. Ihre Ursprünge hat Biologisierung demnach in der Bionik, der Disziplin, nach biologischen Vorbildern technische Lösungen zu entwickeln. Das Vorhaben, die Wirtschaft in eine Bioökonomie zu überführen, baut auf dem Prozess der Digitalisierung auf, was die geringe Forschungsreife erklärt. Die Technologie, die von allen vorgestellten als die wichtigste für Smart Maintenance eingeschätzt wurde, ist die des Maschinellen Lernens. Alle an der Umfrage teilnehmenden Unternehmen haben diesem Teilgebiet der Künstlichen Intelligenz in Bezug auf seine Bedeutung den höchsten zu vergebenden Wert zugeteilt. Die Marktreife hat diese Technologie allerdings noch nicht erreicht: Bisher besteht auch hier immer noch Entwicklungsbedarf.

Obwohl allen drei Bausteinen (insbesondere Datenmanagement und KI) eine sehr hohe Bedeutung beigemessen wurde, finden sie – wie im Status quo abgebildet – heute noch kaum oder nur wenig Anwendung in der Instandhaltung der befragten Unternehmen.

Auch der VDE warnte 2018, dass der technische Entwicklungsstand von KI in Deutschland weit hinter dem in den USA und China zurückliegt. Gleichzeitig wird kritisiert, dass zu wenige finanzielle Mittel zur Entwicklung und Förderung der Technologie in Europa verfügbar sind: Lediglich vier Prozent der befragten Unternehmen schätzten die Geldmittel für Forschung und Entwicklung in innovativen Bereichen als ausreichend ein.⁸³ Für die Entwicklung guter Programme auf Basis einer KI ist wiederum ein gutes Datenmanagement nötig. Auch hierfür ist also die Erfassung von Kennzahlen sowie von Betriebs- und Maschinendaten erforderlich. Ein weiteres Hindernis für eine effektive Nutzung der Daten stellt die unzureichende Unterstützung mit IT-Systemen dar.

An diesen Punkten besteht also dringender Handlungsbedarf seitens der Unternehmen, aber auch der Politik. Aus diesem Grund wurde neben der Hightech-Strategie (HTS25) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung nun auch die KI-Strategie der deutschen Bundesregierung entwickelt. Diese sieht vor, in den nächsten Jahren die technologische Entwicklung voranzutreiben, die Anwendung von KI in deutschen Unternehmen zu fördern sowie gleichzeitig ethische, rechtliche und kulturelle Werte und Voraussetzungen zu verteidigen beziehungsweise gegebenenfalls neu zu schaffen.⁸⁴

83 | Vgl. VDE 2018.

84 | Vgl. BMBF 2018b.

Best Practice für alle Handlungsfelder relevant

PIDGraph

Bilfinger Digital Next GmbH

Ziel: Automatisierung der Digitalisierung analoger Anlagendokumentation

Baustein: Künstliche Intelligenz

PIDGraph ist eine Software, die es mithilfe Künstlicher Intelligenz ermöglicht, Rohrleitungs- und Instrumentenfließschemata von Industrieanlagen automatisch zu digitalisieren. Hierzu wird ein derartiges Schema zunächst – beispielsweise als Bilddatei – eingelesen. Auf Mustererkennung trainierte neuronale Netze identifizieren die verwendeten Symbole und wandeln die Objekte, Tags und Tabellen automatisch in XML-Dateien in einem

Standardformat um. PIDGraph merkt sich außerdem Korrekturen der Nutzerinnen und Nutzer und passt seine Erkennung entsprechend für zukünftige Übersetzungen an, sodass sich Fehler in kurzer Zeit minimieren. Mit PIDGraph gelingt daher eine automatisierte Digitalisierung von zentralen Anlagendokumenten der Prozessindustrie mit geringem Zeitaufwand und erheblichen Kosten- und Zeiteinsparungen.

Best Practice für alle Handlungsfelder relevant

Digitalisierter Prozess zur Datenanalyse

Trumpf GmbH + Co. KG

Ziel: Erreichung von Prädiktion in der Instandhaltung

Baustein: Datenmanagement

Trumpf verfolgt einen definierten digitalen Prozess, um Anwendungsfälle der Datenanalyse auszuwählen und hinsichtlich des erhofften Nutzens zu priorisieren. Vom Auftreten eines Ausgangsproblems bis zur Umsetzung werden die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter innerhalb des Systems durch

den Prozess geführt und können so ihr umfangreiches Domänenwissen entlang des Prozesses direkt einbringen. Auf jeder Stufe werden bestimmte Gates durchschritten, die Raum für Feedback und Verbesserungen bieten.

Best Practice für alle Handlungsfelder relevant

Text Mining mit IBM Watson

Trumpf GmbH + Co. KG

Ziel: Senkung von Prozesskosten durch die Strukturierung von Serviceberichten

Baustein: Datenmanagement

Durch den Einsatz von IBM Watson soll unstrukturiertes Wissen aus Serviceberichten extrahiert werden, indem mittels Text Mining eine Verschlagwortung vorgenommen wird. So können die Berichte direkt nach Thema und aufgetretenen Problemen sowie Lösungsansätzen sortiert und zur Verfügung gestellt werden. Die Verschlagwortung wird künftig ins Service

Information System von Trumpf integriert, wodurch Servicetechnikerinnen und -techniker die Güte der Verschlagwortung direkt kontrollieren und das System daraus lernt. Dabei erbringt das System aktuell eine geringere Qualität im Vergleich zum Menschen, jedoch können nun 20.000 Berichte pro Monate anstatt 300 verarbeitet und das Personal entlastet werden.

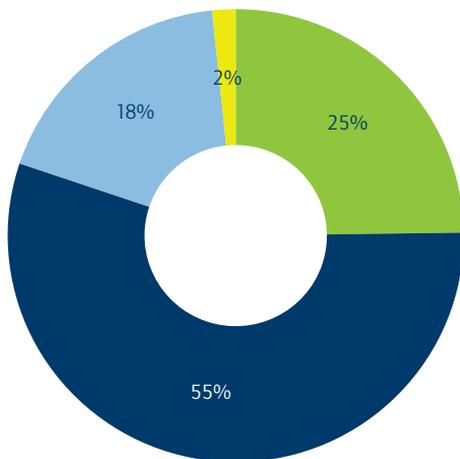


5.8 Zukünftige Handlungsfelder

Aktuell kann nicht mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass die bisher identifizierten Handlungsfelder einer Smart Maintenance als vollständig betrachtet werden können. Die Möglichkeit, dass sich neue Handlungsfelder in nächster Zeit durch die Neu- und Weiterentwicklung von einzelnen Technologien, Handlungsbereichen und dem Konzept der Smart Maintenance ergeben, sollte daher berücksichtigt werden.

Besonderes Augenmerk sollte dabei auf die Entwicklungen im Bereich IT und IT-Sicherheit gelegt werden. Bei der Umfrage gaben insgesamt 80 Prozent der Befragten an, dass sich die Instandhaltungstätigkeiten stark auf die IT-Seite verlagern. 25 Prozent gaben sogar an, dass die klassischen Tätigkeiten nach heutigem Verständnis fast gänzlich entfallen werden und hauptsächlich IT-Kompetenzen vom Instandhaltungspersonal gefordert werden (siehe Abbildung 27).

Wie wird die Entwicklung des Tätigkeitsfelds Instandhaltung eingeschätzt?



- Die klassischen Tätigkeiten in heutiger Form werden verschwinden/verlagert. Tätigkeiten werden derart digitalisiert, dass wenige verbleibende manuelle Tätigkeiten vom Menschen ausgeführt werden.
- Der Instandhaltungsschwerpunkt wird sich IT-seitig verlagern, ein MA wird jedoch weiter als Spezialist für Mechanik/Elektronik manuell handeln.
- An der heutigen Form wird sich vorerst wenig ändern, digitale Lösungen wird es höchstens vereinzelt geben.
- Sonstiges

Abbildung 27: Entwicklung des Tätigkeitsfelds Instandhaltung (Quelle: eigene Darstellung)

5.9 Fazit

Innerhalb der vorangegangenen Ausführungen wurden der Status quo der Instandhaltung der Zielvision Smart Maintenance gegenübergestellt und verschiedene Technologiebausteine diskutiert, die zur Erreichung dieser Zielvision dienen. Veranschaulicht wurden erste Umsetzungsbeispiele anhand von Best Practices, die bereits heute in der Praxis aufzufinden sind. Diese sind als Veranschaulichung der jeweiligen Ausführungen zu verstehen und wurden gezielt für ausgewählte Handlungsfelder platziert. Für die Handlungsfelder selbst konnten folgende Thesen aufgestellt werden:

1. Eine gemeinsame Planung anhand einer einheitlichen Entscheidungsgrundlage führt zu einem Überwinden von bisher isoliertem Bereichsdenken und ermöglicht ein ganzheitliches Optimum.
2. Die Erhebung und Auswertung einer umfassenden Datengrundlage ist essenziell zur Gewährleistung einer bestmöglichen Verfügbarkeitsorientierung.
3. Durch den gezielten Einsatz von digitalen Werkzeugen kann der Grad an Flexibilität sowohl auf dem Shopfloor als auch in der Instandhaltung erheblich gesteigert werden.
4. Ein ganzheitliches Wissensmanagement gehört zu den entscheidenden Erfolgsfaktoren einer Smart Maintenance und wird hauptsächlich durch die Überführung von individuellem zu digitalisiertem Wissen erreicht.
5. Ein flexibles Ersatzteilmanagement ist für die Realisierung einer Smart Maintenance essenziell und wird mithilfe einer umfassenden Datengrundlage realisiert.
6. Durch die geeignete Erfassung bereichsübergreifender Kennzahlen wird die Instandhaltung zukünftig mehr als wertschöpfender denn als kostenverursachender Faktor angesehen.

Dabei konnte außerdem festgestellt werden, dass viele hochbedeutende Bausteine noch nicht ausreichend erforscht oder entwickelt sind, um sie anwenden zu können. Besonders hervorzuheben ist dieser Umstand im Fall von Künstlicher Intelligenz sowie von Predictive Maintenance. Auch im Bereich der Sensorik besteht noch Entwicklungsbedarf bis zur endgültigen Marktreife. Gerade diese drei Bausteine sind jedoch eng mit anderen Bausteinen verknüpft und oftmals Voraussetzung für die Nutzung anderer Technologien. Als Querschnittsfunktion wurde ein umfassendes Datenmanagement identifiziert, das als generelle Voraussetzung für die digitale Transformation anzusehen ist und ebenfalls grundlegend von einer geeigneten Nutzung von Sensorik und zugehörigen Analyseprogrammen abhängig ist.

Neben diesen technologischen Hürden spielt allerdings auch die Wahrnehmung der Instandhaltung eine entscheidende Rolle. Auch heutzutage wird die Instandhaltung oft als minderwertig gegenüber der Produktion angesehen, weshalb Investitionsentscheidungen und -planungen zugunsten der Produktion gefällt werden. Um eine ganzheitliche Transformation zu ermöglichen, darf der Bereich der Instandhaltung jedoch nicht vernachlässigt werden.

Aus diesem Grund wird im nachfolgenden Abschnitt die Lücke zwischen dem Status quo und der Zielvision skizziert, sodass exakte Handlungsmaßnahmen nach Dringlichkeit und Potenzial geordnet ermittelt werden können. Anhand dieser Maßnahmen kann dann die Transformation des Unternehmensbereichs Instandhaltung vollzogen werden.



6 Von der Zielvision zur Umsetzung – Gestaltung einer Roadmap

Smart Maintenance ist die sich mit dem Ziel, den größtmöglichen Wertbeitrag für das agile produzierende Unternehmen zu leisten, durch Daten und Erfahrungswissen selbstständig weiterentwickelnde Instandhaltungsorganisation.⁸⁵ Das heißt in erster Linie, mit Daten und Informationen auf veränderte Einflüsse und Ereignisse schneller und objektiver reagieren zu können (siehe Abbildung 28).

Wie jede transformale Veränderung folgt die Industrie 4.0 und damit verbunden die Smart Maintenance bestimmten Regeln und Gesetzmäßigkeiten. Diese werden von der acatech STUDIE „Industrie 4.0 Maturity Index: Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten“⁸⁶ aufgegriffen und innerhalb eines Ordnungsrahmens formuliert. Dieser Rahmen gliedert sich für die Industrie 4.0 in vier Reifegradstufen, welche durch zwei Reifegradstufen innerhalb der Digitalisierung als Grundlage der Industrie 4.0 ergänzt werden (siehe Abbildung 29):

1. Computerisierung: Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Unternehmens werden durch Datenverarbeitungssysteme unterstützt.
2. Konnektivität: Datenverarbeitungssysteme sind miteinander verknüpft und haben die Fähigkeit, End-to-End-Prozesse abzubilden.
3. Sichtbarkeit: Unternehmen können datenbasiert entscheiden, da ein digitaler Schatten ihres Unternehmens vorliegt.
4. Transparenz: Sachzusammenhänge innerhalb des Unternehmens können rückwirkend analysiert und für eine taktische beziehungsweise strategische Anpassung genutzt werden.
5. Prognosefähigkeit: Zukunftsszenarien können untersucht und Entscheidungsmöglichkeiten dadurch bewertet werden.
6. Adaptierbarkeit: Die Systeme des Unternehmens reagieren selbstständig auf veränderte Einflussfaktoren und passen sich diesen an.

Jede Stufe stellt für sich einen Mehrwert für die Organisationen dar und leistet einen Beitrag, um auf Veränderungen schneller und objektiver reagieren zu können. Durch die Reifegradstufen wird eine Verbindung zwischen den erforderlichen Fähigkeiten hergestellt, da jeweils die höherwertige Fähigkeit/Reifegradstufe die andere als Grundlage benötigt. Dabei muss man jedoch klar nach Anwendungsfall differenzieren, da es selbstverständlich möglich ist, dass manche Bereiche punktuell weiterentwickelt sind als andere. Jedoch hat sich in der Implementierung von Smart Maintenance gezeigt, dass sich ein Leuchtturmprojekt nur in die

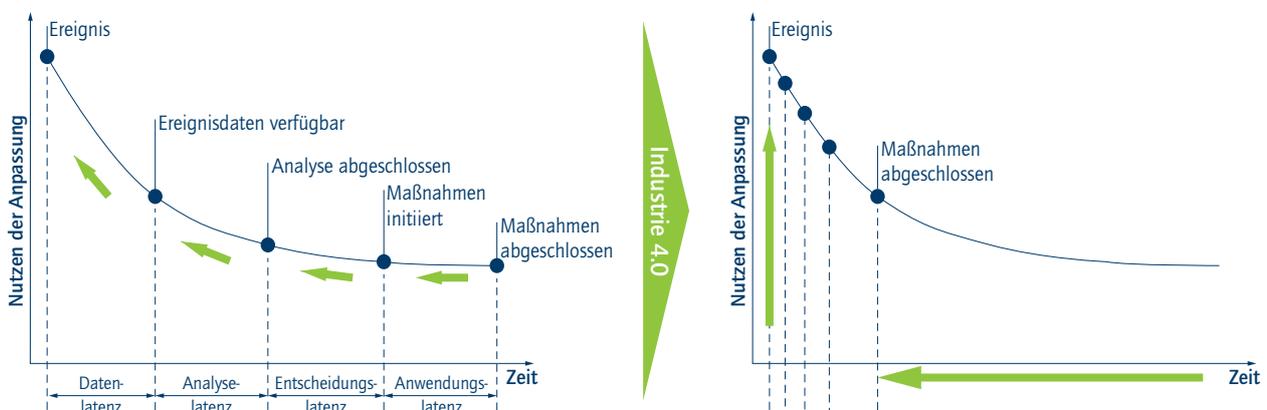


Abbildung 28: Wachsender Nutzen durch beschleunigte Adaption (Quelle: Kampker 2017, S. 9)

85 | Vgl. Defèr et al. 2019, S. 7.

86 | Vgl. Schuh et al. 2017a.

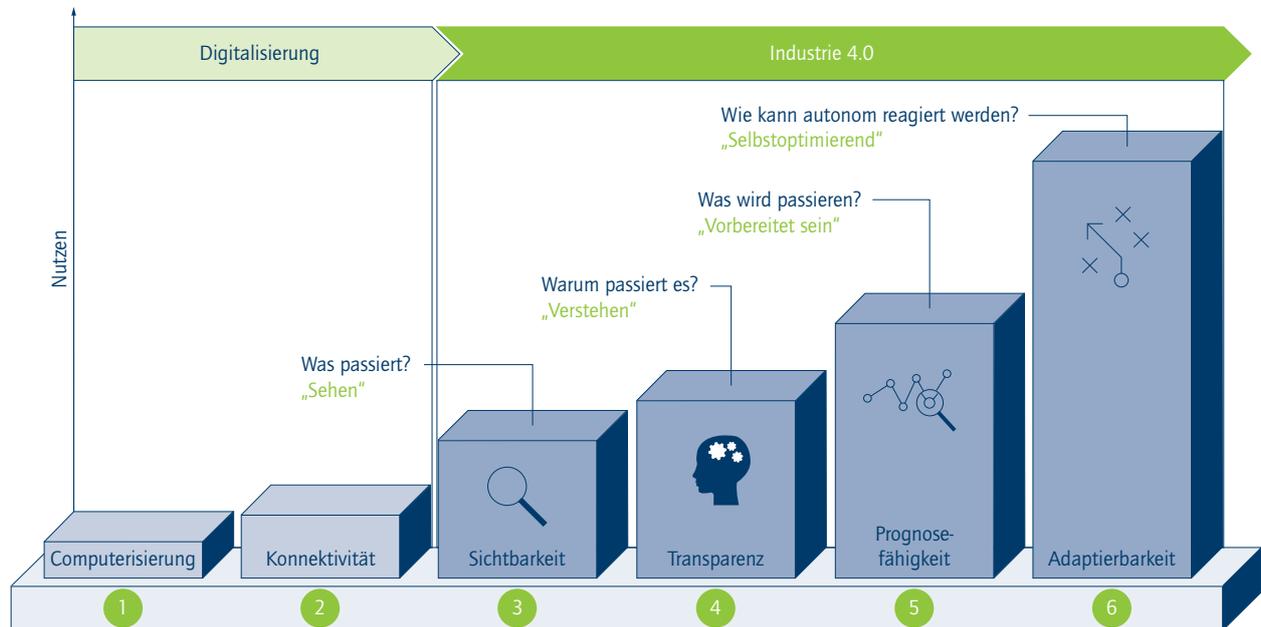


Abbildung 29: Reifegradstufen des Industrie 4.0 Maturity Index (Quelle: Schuh et al. 2017a, S. 16)

allgemeine betriebliche Praxis überführen lässt, wenn die gesamte Organisation beziehungsweise der Organisationsbereich den entsprechenden Reifegrad besitzt.⁸⁷ Damit verbunden sind nicht nur technologische, sondern vor allem auch organisatorische und kulturelle Herausforderungen, welche sich nur durch eine deutliche Abhebung von einer klassischen, technokratisch geprägten Unternehmensführung unterscheiden.

Industrie 4.0 stellt einen Entwicklungspfad dar, welcher von Reifegradstufen und damit verbundenen Fähigkeiten geprägt ist. Die einzelnen Stufen des Industrie 4.0 Maturity Index geben den Herausforderungen und notwendigen Maßnahmen der Smart Maintenance eine Struktur, welche ein fundiertes Vorgehen für die Umsetzung in Form einer Roadmap ermöglicht.

Ausgehend von den durch das Fraunhofer IML zuvor identifizierten Handlungsfeldern (vgl. Kapitel 5) und der Kombination mit dem Industrie 4.0 Maturity Index wurde innerhalb des Projekts eine Smart-Maintenance-Roadmap für die Smart Maintenance erarbeitet, welche im folgenden Kapitel näher beschrieben werden soll (siehe Abbildung 30).

Im Folgenden wird die Smart-Maintenance-Roadmap anhand der sechs Gestaltungsfelder und der sechs Reifegradstufen vorgestellt. Besonderes Augenmerk wird auf die Stufen gelegt, die laut der Studie mit den bis dato größten Herausforderungen verbunden sind.

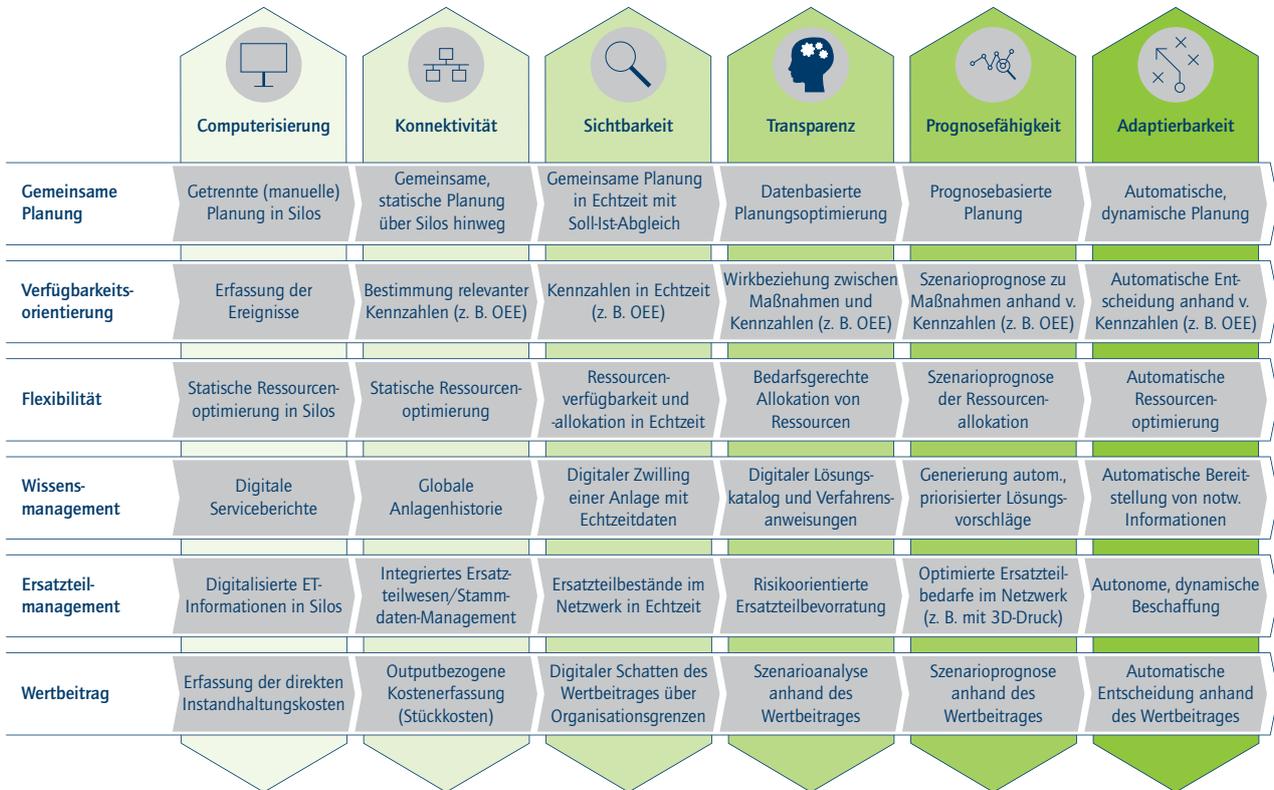


Abbildung 30: Smart-Maintenance-Roadmap (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Schuh et al. 2017a, S. 16)

6.1 Gemeinsame Planung⁸⁸

Die gezielte Informationslogistik ist Kern der Smart Maintenance und sorgt dafür, dass Entscheidungen datenbasiert schneller getroffen werden können. Insbesondere in der Abstimmung mit anderen Abteilungen und bei der Planung von Aufträgen und Maßnahmen machen sich diese Vorteile besonders bemerkbar. Die gemeinsame Planung von Instandhaltung und Produktion sowie möglicherweise angrenzenden Prozessen bietet das Potenzial, flexibel Produktionsfreiräume, welche beispielsweise durch Rüstvorgänge etc. entstehen, möglichst effizient auszunutzen und für die Instandhaltung notwendige Stillstandzeiten zu minimieren.

Integrierte, statische Planung über Silos hinweg

Die Vernetzung verschiedener Anwendungssysteme (beispielsweise IPS und MES) erleichtert die Kommunikation zwischen den Bereichen und optimiert Planungsabläufe wesentlich. Dadurch, dass Informationen über Bereichsgrenzen hinweg verfügbar werden, können ungenutzte Stillstandzeiten im

Produktionsprogramm besser für Instandhaltungsmaßnahmen genutzt werden. Darüber hinaus wird die autonome Instandhaltung unterstützt, da ein Teil der Instandhaltungsaufträge gegebenenfalls auf Produktionsmitarbeiterinnen und -mitarbeiter verteilt werden kann.

Datenbasierte Planungsoptimierung

Durch die gewonnenen Daten lassen sich Datenmodelle generieren, welche durch Zeitstempel Rückschlüsse auf eine Vielzahl von Daten und Zusammenhänge zulassen. So können Auswirkungen auf die OEE, die Ersatzteillogistik und vieles mehr untersucht werden. Wichtig ist hierbei, dass dafür das vorhandene Domänenwissen der Organisation mit Machine-Learning- beziehungsweise Process-Mining-Ansätzen kombiniert wird. Die Erkenntnisse können dabei von einer einfachen Ressourcenallokation über die Optimierung der Prozesse bis hin zu Compliance-Themen reichen.

88 | In Anlehnung an Defèr et al. 2019.

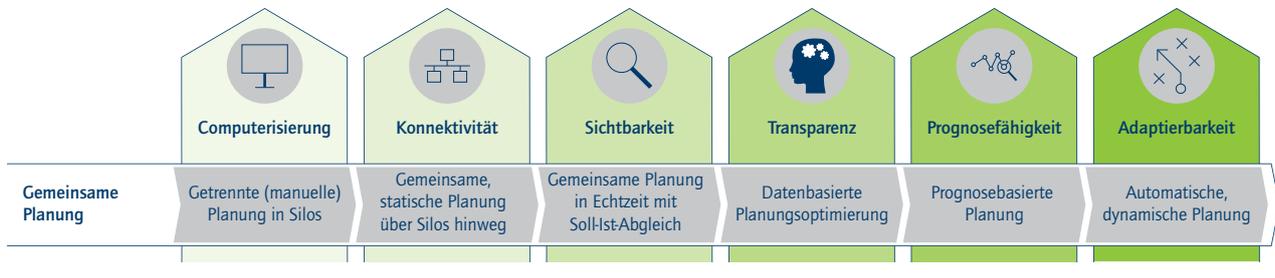


Abbildung 31: Smart-Maintenance-Roadmap – Gemeinsame Planung (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Schuh et al. 2017a, S. 16)

Automatische, dynamische Planung

Je nach Güte- und Planungsgrad sind für die automatische Planung von Instandhaltungsaufträgen komplexe Vorhersagen und Entscheidungen zu treffen. Dafür benötigt ein softwarebasierter Algorithmus ein möglichst vollständiges und qualitativ hochwertiges Abbild der Prozesse und Anlagen des Unternehmens. Nur so ist ein Übergang der Entscheidungskompetenzen vom Menschen auf die Maschine machbar, da die operativ getroffenen Entscheidungen wesentliche Auswirkungen auf das Unternehmensergebnis haben.

6.2 Verfügbarkeitsorientierung

Die Smart Maintenance verfolgt weiterhin das Ziel, die Verfügbarkeit der Instand zu haltenden technischen Assets an die Bedarfe der Produktion in Echtzeit anzupassen und die bedarfsgerechte Verfügbarkeit auch langfristig der Produktion garantieren zu können.⁸⁹ Einerseits bietet Condition Monitoring unter Verwendung moderner Sensorik die Möglichkeit, Zustände hochfrequent zu überwachen, Störungen schneller zu erfassen und auf diese auch rascher mit den richtigen Maßnahmen reagieren zu können. Aufbauend darauf kann mit Predictive Maintenance einem ungeplanten Stillstand vorgebeugt und damit ebenfalls die Verfügbarkeit in Richtung des vorhandenen Bedarfs gesteigert werden. Daneben treten mit zunehmender Verfügbarkeit auch weitere Faktoren wie zum Beispiel Leistung/Produktivität oder Qualität in den Vordergrund. Letztlich zeichnet sich die Smart Maintenance auf dieser Ebene dadurch aus, dass Ziele und Aktivitäten konsequent und dynamisch an messbaren Zielgrößen ausgerichtet werden.

Erfassung der Ereignisse

Um grundsätzlich messbare Ziel- und Steuergrößen der Smart Maintenance erfassen beziehungsweise verfolgen zu können, ist auf der ersten Reifegradstufe zunächst eine lückenlose Erfassung aller instandhaltungsrelevanten Ereignisse (zum Beispiel Störungen, Stillstände etc.) notwendig. Regelmäßige Inspektionen durch Instandhaltungspersonal oder geschulte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus der Produktion stellen geeignete Maßnahmen dar, um die Zeit vom Ereigniseintritt bis zur Ereignismeldung zu verkürzen. Zusätzlich bieten definierte Fehlercodes bereits bei manueller Zuordnung zu Ereignissen die Möglichkeit, eine Klassifizierung vorzunehmen und die technische Verfügbarkeit entsprechend als eine zentrale Steuergröße zu bestimmen.

Bestimmung relevanter Kennzahlen (zum Beispiel OEE)

Mit zunehmender Vernetzung von Maschinen, Menschen und IT-Systemen stehen auch mehr Daten zur automatisierten Bildung weiterer, auf der Verfügbarkeit aufbauender Steuergrößen bereit, die den Leistungsumfang der Instandhaltung auch aus Sicht der Produktion messbar machen. Beispielsweise werden für die OEE (Overall Equipment Effectiveness, zu Deutsch: Gesamtanlageneffektivität) als relevante Kennzahl der Smart Maintenance neben der Verfügbarkeit auch Output- und Ausschussmengen benötigt, um Leistungs- und Qualitätsfaktoren identifizieren zu können.⁹⁰ Durch die Integration von Sensorik können weiterhin OEE und andere Kennzahlen (zum Beispiel Mean Time Between Failures – MTBF oder Mean Time To Repair – MTTR)⁹¹ zur Bemessung der Instandhaltungseffektivität und -effizienz automatisiert bestimmt werden. Auch mobile Assistenzsysteme bieten für eine durchgängige Datenerfassung zur Bildung der Kennzahlen eine sinnvolle Einsatzmöglichkeit.

89 | Vgl. Biedermann 2007, S. 55 f.

90 | Vgl. Pawellek 2016, S. 89.

91 | Vgl. Pawellek 2016, S. 91.

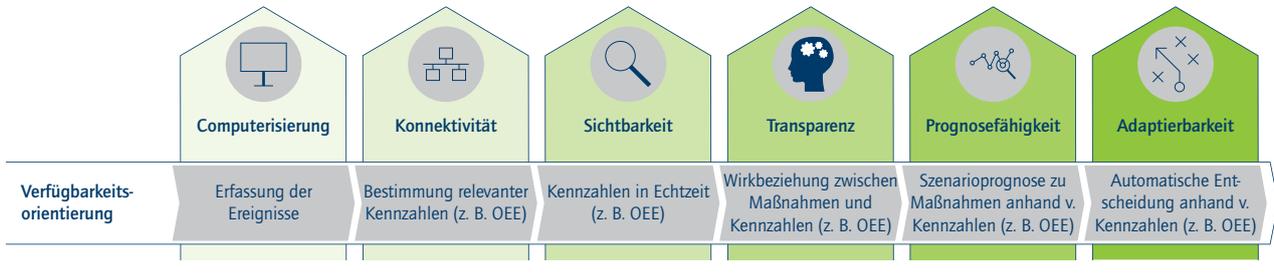


Abbildung 32: Smart-Maintenance-Roadmap – Verfügbarkeitsorientierung (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Schuh et al. 2017a, S. 16)

Wirkbeziehungen zwischen Maßnahmen und Kennzahlen (zum Beispiel OEE)

Auf Grundlage der echtzeitbasierten, automatisch generierten Kennzahlen auf Stufe 3 können auf der vierten Reifegradstufe Instandhaltungsmaßnahmen hinsichtlich ihrer Wirkung untersucht werden. Insbesondere der Effekt von Verbesserungen an Anlagen oder Maschinen kann so messbar dargestellt und für Folgeverbesserungen genutzt werden. Auch können die Wartungszyklen im Hinblick auf das Störverhalten an betrachteten Anlagen untersucht und optimiert werden. Ziel ist es, auf Basis der analysierten Wirkbeziehungen zwischen Maßnahmen und Kennzahl(en) einen Instandhaltungsregelkreis⁹² zu implementieren, der durch Abgleich der Kennzahlen (als Führungs- und Regelgrößen) in Echtzeit automatisierte Stellgrößen zum Beispiel für die Instandhaltungsplanung und das Ersatzteilmanagement ableitet, die jedoch zunächst durch die entsprechenden Fachleute geprüft werden müssen.

Automatische Entscheidung anhand von Kennzahlen (zum Beispiel OEE)

Mit wachsender Datenmenge und -qualität können aufbauend auf Reifegradstufe 5 nicht nur Szenarien mittels des Maschinellen Lernens entwickelt werden, die den positiven Einfluss von Verbesserungen oder anderen Instandhaltungsmaßnahmen (zum Beispiel Predictive Maintenance) auf die relevanten Zielgrößen (zum Beispiel OEE; MTTR, MTBF) prognostizieren; vielmehr werden auf der sechsten Reifegradstufe innerhalb des implementierten Instandhaltungsregelkreises auch automatisch Maßnahmen abgeleitet, um die OEE und weitere Kennzahlen als Zielgrößen zu optimieren. Im Sinne der OEE oder auch der Verfügbarkeit, die einen von drei Faktoren der OEE darstellt,⁹³ würde hierzu beispielsweise eine präskriptive Instandhaltung zählen, bei der Instandhaltungsbedarfe nicht nur vorausschauend prognostiziert, sondern auch dazu passende Instandhaltungsaufträge gemeinsam mit

den notwendigen Ersatzteilbeschaffungen beziehungsweise 3D-Druckaufträgen automatisiert generiert werden.

6.3 Flexibilität

Eine Smart Maintenance muss auf unvorhersehbare Ereignisse in kürzester Zeit reagieren können, um den komplexer werdenden Anforderungen einer Smart Factory gerecht werden zu können. Derartige Ereignisse können beispielsweise in Form einer kurzfristigen Änderung des Produktionsprogramms infolge besonderer Kundenwünsche auftreten, was wiederum eine flexible Anpassung des Instandhaltungsprogramms verlangt. Kritische Größen zur Erreichung eines hohen Grads an Flexibilität sind in vielen Fällen die Verfügbarkeit von ausreichend qualifiziertem und erfahrenem Instandhaltungspersonal sowie die für die Aufträge notwendigen Ersatzteile beziehungsweise Werkzeuge.⁹⁴

Statische Ressourcenoptimierung in Silos

Der erste Schritt zur Steigerung der Flexibilität auf der ersten Reifegradstufe wird durch eine lokale, statische Optimierung der vorhandenen Ressourcen innerhalb der Instandhaltungsorganisation erreicht. Auf Basis des vorliegenden Instandhaltungsprogramms werden Ressourcenbedarfe für Instandhaltungspersonal, Ersatzteile und Betriebsmittel bestimmt. Auf Personalebene werden zusätzlich Qualifizierungsbedarfe identifiziert und bei Bedarf Qualifizierungsmaßnahmen eingeplant, damit das vorgesehene Instandhaltungsprogramm planmäßig bewältigt werden kann. Für eine erweiterte Betrachtung können Puffer einkalkuliert werden, die in Form zusätzlicher Personal-/Materialressourcen gegebenenfalls mit erweiterten Qualifikationen für ungeplante Instandsetzungen verwendet werden können.

92 | Vgl. Apel 2018, S. 522.

93 | Vgl. Pawellek 2016, S. 89.

94 | Vgl. Matyas 2010, S. 188 f.

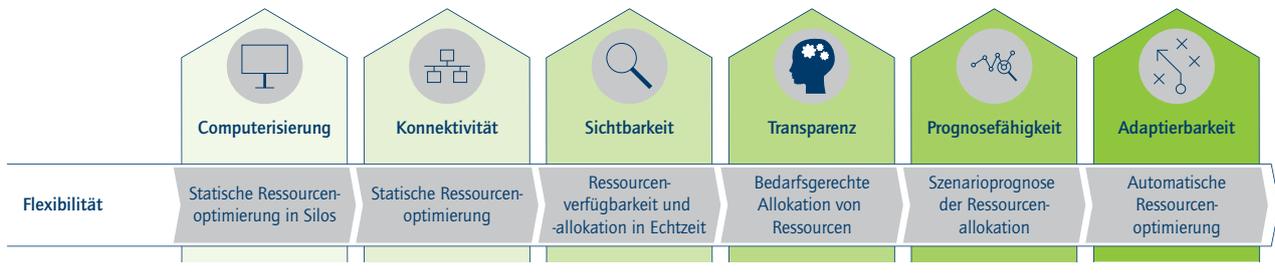


Abbildung 33: Smart-Maintenance-Roadmap – Flexibilität (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Schuh et al. 2017a, S. 16)

Ressourcenverfügbarkeit und Allokation in Echtzeit

Auf der dritten Reifegradstufe ist die Verfügbarkeit aller einsetzbaren Personal- und Materialressourcen digital in Echtzeit abgebildet; entsprechend kann auch eine Allokation der Ressourcen in Echtzeit stattfinden. Weiterhin werden aufbauend auf Reifegradstufe 2 im Sinne einer autonomen Instandhaltung auch Ressourcen aus anderen Bereichen (zum Beispiel der Produktion) für autonome Instandhaltungstätigkeiten für die Abbildung Allokation der Ressourcen berücksichtigt. Zusätzlich werden Grenzen zwischen Produktionsstandorten aufgelöst, sodass Personal bei außergewöhnlich hohen Bedarfen auch in jeweils anderen Werken für Instandhaltungsaufgaben eingesetzt werden kann. Hierfür muss ein entsprechender Standard für das Datenmanagement der Ressourcenverfügbarkeit umgesetzt werden.

Automatische Ressourcenoptimierung

Durch den stetigen Abgleich der allokierten Ressourcen mit den tatsächlich benötigten/verbrauchten Ressourcen mittels KI und Maschinellen Lernens wird eine kontinuierliche Optimierung der Ressourcenbedarfe und -allokation vorgenommen. In diesem Kontext werden beispielsweise Planzeiten für Aufträge sowie Lagerbestände und Bestellmengen von Ersatzteilen stetig angepasst. Auch die Bereitstellung externer Ressourcen wird in automatisierten Make-or-buy-Kalkulationen abgebildet und für die Planung der Instandhaltungsaufträge berücksichtigt, sodass ein maximaler Grad an Flexibilität erreicht werden kann.

6.4 Wissensmanagement

Die gesellschaftliche Transformation in Richtung einer Wissensgesellschaft mit all ihren Implikationen hat Wissen zum zentralen Erfolgsfaktor eines jeden Unternehmens gemacht. Dies gilt insbesondere im technischen Service und in der Instandhaltung, da diese häufig an komplexen und hoch individuellen Maschinen und Anlagen durchgeführt wird und daher viel individuelles

Expertenwissen erfordert. Die fortschreitende Vernetzung und Digitalisierung bietet dabei das Potenzial, vorhandenes Wissen einzelner Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter eines Unternehmens deutlich effizienter aufzunehmen und durch eine gezielte, kontextbezogene Bereitstellung einer Vielzahl weiterer Mitarbeiter zugänglich zu machen. Die aktuelle Schwierigkeit, das volle Potenzial von Augmented Reality und weiteren technischen Möglichkeiten auszuschöpfen, liegt im hohen manuellen Aufwand, der für die vorherige Generierung der Inhalte betrieben werden muss. Neben der Generierung ist der Aufwand für die Prozessintegration von intelligenten Mechanismen sehr hoch, die letztlich das Wissensmanagement sicherstellen.

Digitale Serviceberichte

Die Grundlage für nachhaltiges Wissensmanagement liegt in der Erfassung der notwendigen Daten. Zuerst muss eine Ereignismeldung erfolgen, welche wichtige Informationen zur Ursache der Störung und deren Klassifizierung enthält. Sie dient als Grundlage für FMEAs und Risikoklassifizierungen der Anlagenteile. Neben den Ursachen sollten für die Priorisierung der Anlagen und Störungen ebenfalls die Ausfallzeiten und Auswirkungen deutlich werden. Bei der Dokumentation des Auftrags gilt es, Ersatzteilverbräuche, Bearbeitungszeiten und Problemlösungen zu erfassen. Nur eine gute und durchdachte Datengrundlage kann einen Mehrwert für das Unternehmen schaffen.

Digitaler Zwilling mit Echtzeitdaten

Die vollständige Anlagenhistorie, die komplette anlagenbezogene Dokumentation und die gesamte Produktionsplanung werden in der dritten Reifegradstufe um Echtzeitdaten aus der Anlage ergänzt. Bei der Fehlerbehebung können die Daten dazu beitragen, deutlich schneller zu einer Fehleridentifikation zu gelangen und geeignete Gegenmaßnahmen ergreifen zu können. Die Betriebsdaten der Anlage enthalten in der Regel umfangreiche Informationen, um zum Beispiel die Abnutzung an



Abbildung 34: Smart-Maintenance-Roadmap – Wissensmanagement (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Schuh et al. 2017a, S. 16)

beweglichen Teilen durch eine erhöhte Stromaufnahme identifizieren zu können. In späteren Reifegradstufen bieten ein gutes Verständnis über die Zusammenhänge und die Schaffung eines Datenmodells eine notwendige Grundlage, um mit Machine Learning oder ähnlichen Verfahren statistische Auswertungen nutzen zu können.

Digitaler Lösungskatalog und Verfahrensanweisungen

Durch die Bereitstellung der erforderlichen Informationen lassen sich auftretende Fehlerbilder katalogisieren und mit Lösungsmöglichkeiten hinterlegen. Dies ergibt natürlich nur Sinn, wenn sich die auftretenden Fehler nicht verhindern lassen, da es sich zum Beispiel um Verschleißteile handelt oder eine Anlagenverbesserung aus ökonomischen Gesichtspunkten nicht sinnvoll ist. Bei der Erstellung der Lösungskataloge und Verfahrensanweisungen muss der manuelle Aufwand so gut wie möglich reduziert werden, da es sich um nicht wertschöpfende Nebenzeiten handelt. Eine automatisierte Auswertung und gegebenenfalls Übersetzung von Serviceberichten motiviert die Servicetechnikerinnen und -techniker, die Berichtsqualität zu steigern.⁹⁵

Automatische Bereitstellung von notwendigen Informationen

Die höchste Stufe des Wissensmanagements ist die kontextsensitive, automatische Bereitstellung von notwendigen Informationen im laufenden Prozess. Dies stellt eine echte technologische Herausforderung dar, da eine sehr gute Datenqualität und -analyse gewährleistet sein muss. Der wesentliche Vorteil liegt darin, dass Schulungszeiten minimiert werden können, da Informationen und Anleitungen prozessintegriert vermittelt werden.

6.5 Ersatzteilmanagement

Durch fehlende Ersatzteile können erhebliche Verzögerungen in der Beseitigung von Störungen entstehen. Gleichzeitig unterliegen die Ersatzteilbestände einem erheblichen Kostendruck, welcher sich durch die Reduzierung von Sicherheitsbeständen ausgleichen lassen soll. Durch Smart Maintenance lassen sich Verbräuche besser vorhersagen, mit 3D-Druck beispielsweise eine Optimierung der Ersatzteile und eine Verkürzung ihrer Beschaffungsdauer realisieren, durch Blockchain dezentrale Wertschöpfungsnetzwerke aufbauen und die Prozesse mit autonomen Transportsystemen optimieren.

Integriertes Ersatzteilwesen/Stammdatenmanagement

Automatische Ersatzteilbestellungen beziehungsweise Bedarfsmeldungen können nur generiert werden, wenn eine entsprechende Datenbasis vorhanden ist.⁹⁶ Dazu müssen Stammdaten gepflegt und gegebenenfalls über Standort- und Landesgrenzen hinaus standardisiert werden. Im Stammdatenmanagement liegt dadurch eine wesentliche Herausforderung für die smarte Ersatzteillogistik, da Anforderungen an die Nomenklatur synchronisiert und durchgehend eingehalten werden müssen. Prozesse und Lieferfähigkeit des Ersatzteillagers verbessern sich jedoch durch die Automatisierung und die durchgängige Datengrundlage grundlegend.

Ersatzteilbestände im Netzwerk in Echtzeit

Durch eine einheitliche Datengrundlage lassen sich virtuelle Zentrallager über Ländergrenzen hinweg betreiben und die Lieferfähigkeit sowie die Reaktionszeit auf Bedarfe signifikant verbessern.⁹⁷ Die Echtzeitfähigkeit des Systems lässt eine Verringerung der Sicherheitsbestände zu, da eine bessere Sichtbarkeit und Zuverlässigkeit in der Verfügbarkeit von Ersatzteilen geschaffen wird. Eine homogene und synchronisierte IT-Landschaft

95 | Vgl. Unsworth et al. 2011, S. 1480.

96 | Vgl. Stollenwerk 2016, S. 302.

97 | Vgl. Gudehus 2005, S. 995.

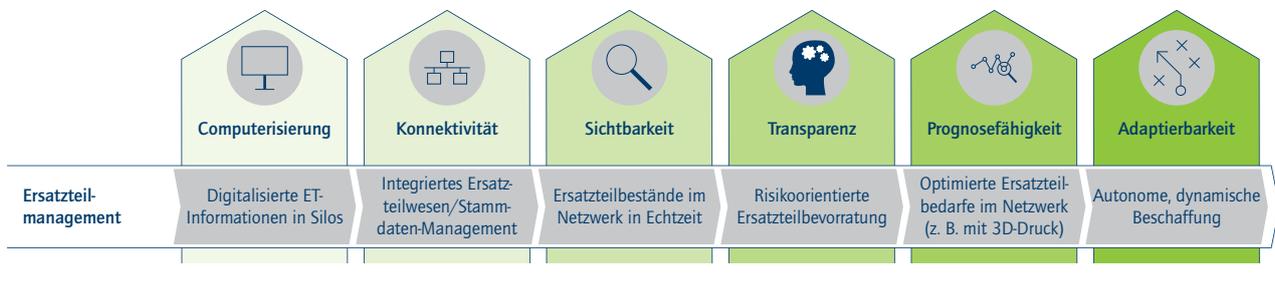


Abbildung 35: Smart-Maintenance-Roadmap – Ersatzteilmanagement (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Schuh et al. 2017a, S. 16)

sowie ein zuverlässiges Stammdatenmanagement sind dabei wichtige Erfolgsfaktoren.

Optimierte Ersatzteilbedarfe im Netzwerk (zum Beispiel mit 3D-Druck)

Predictive Maintenance und eine vorausschauende Disposition ermöglichen eine konsolidierte Optimierung der Ersatzteilbestände über Standorte hinweg.⁹⁸ Der digitale Schatten muss dafür ausgeweitet werden, da neben Stamm-, Bestands- und Verbrauchsdaten ebenfalls Daten über die Instandhaltungsstrategie, den Anlagenzustand sowie Wartungsbeziehungsweise Inspektionsintervalle verfügbar sein müssen. Durch das Zusammenspiel der verschiedenen Technologien ist es möglich, die Bestände bei gleichem oder sogar höherem Servicelevel weiter zu reduzieren.

Automatische, dynamische Beschaffung

Für die automatische, dynamische Beschaffung von Ersatzteilen ist die Zukunftsvision der Smart Maintenance, dass Anlagen selbstständig ihre eigenen Bedarfe bestimmen und automatisiert Bestellungen durchführen können. Durch intelligente Algorithmen kann selbst die Zufallskomponente, welche unweigerlicher Bestandteil der Ausfallhäufigkeit eines Ersatzteils ist (siehe Badewannenkurve), abgeschätzt werden, um die Bestände so gering wie möglich zu halten. Die Vision von einem leeren Ersatzteillager wird sich jedoch vermutlich nicht erfüllen.

6.6 Wertbeitrag

In einer Smart Maintenance wird die Instandhaltung als Wertschöpfungspartner verstanden, dessen Wertbeitrag für das produzierende Unternehmen über die bloße Bereitstellung einer bedarfsgerechten Verfügbarkeit von technischen Assets hinausgeht. Neben der Vermeidung von direkten und indirekten Instandhaltungskosten⁹⁹ trägt eine effizient und effektiv arbeitende Instandhaltung zu einer Steigerung der Produktivität und Qualität bei, sorgt für eine ausgeglichene Mitarbeiterauslastung und sichert wichtiges, implizites Domänenwissen für das Unternehmen. Dabei dient eine Smart Maintenance nicht nur dazu, den Wertbeitrag zu erfassen und damit messbar zu machen, sondern nutzt ihn auch als maßgebenden Faktor zur Steuerung und Optimierung der eigenen Instandhaltungs-, Produktions- und Investitionsstrategie. Der Wertbeitrag einer Smart Maintenance wird hierdurch zu einem wichtigen Faktor, um die Wettbewerbsfähigkeit produzierender Unternehmen zu erhalten und sogar weiter auszubauen.

Erfassung der direkten Instandhaltungskosten

Grundlage des Wertbeitrags der Instandhaltung ist die digitale und auftragspezifische Erfassung der direkten Instandhaltungskosten, die in Form von Personal-, Material-, Werkzeug-/Betriebsmittel- und Dienstleisterkosten vorliegen.¹⁰⁰ Durch einen darauf aufbauenden Vergleich der Kosten für die jeweiligen Auftragsarten (zum Beispiel ungeplante Instandsetzung, geplante Instandsetzung, Wartung) kann eine erste datenbasierte Einschätzung über die Effektivität des gewählten Instandhaltungsstrategiemix, bestehend aus reaktiven, präventiven und prädiktiven Instandhaltungsaktivitäten, vorgenommen werden. Ebenso können Aussagen über die Effizienz der Instandhaltungsarbeiten durch Vergleich identischer Auftragsarten getroffen werden. Beide Betrachtungen führen zu

98 | Vgl. Nienke 2018, S. 114.

99 | Vgl. Pawellek 2016, S. 68.

100 | Vgl. Apel 2018, S. 513.



Abbildung 36: Smart-Maintenance-Roadmap – Wertbeitrag (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Schuh et al. 2017a, S. 16)

einer Optimierung der Instandhaltung, ohne jedoch Bestandteile des Wertbeitrags aus angrenzenden Organisationseinheiten zu berücksichtigen. Erst die Vernetzung der IT-Systeme erlaubt es, die Kosten in Relation zur produzierten Menge zu setzen und damit den direkten Instandhaltungskosten eine wertschöpfende Größe gegenüberzustellen.

Digitaler Schatten des Wertbeitrags der Instandhaltung

Durch die Vernetzung der vorhandenen IT-Systeme (zum Beispiel ERP, MES, IPS) und damit auch der angrenzenden Organisationseinheiten (zum Beispiel Produktion, Logistik, Einkauf, Vertrieb) können auf dieser Ebene nun auch indirekte Instandhaltungskosten, die sich beispielsweise aus Stillstandskosten, entgangenen Deckungsbeiträgen und weiteren Ausfallfolgekosten zusammensetzen, als weitere Bestandteile des Wertbeitrags der Instandhaltung erfasst werden; allein diese werden auf das Dreis- bis Fünffache der direkten Instandhaltungskosten geschätzt.^{101,102} Zudem werden Produktivitäts- und Qualitätssteigerungen der Produktion, gesenkte Ersatzteilbestände und verringerte Lagerflächenbedarfe sowie eine gesteigerte Termintreue der Produktion infolge adaptierter Instandhaltungsmaßnahmen oder Verbesserungen aus der Instandhaltung heraus auf Datenebene in Echtzeit sichtbar gemacht. Der sich so zusammensetzende digitale Schatten^{103,104} als hinreichend genaues digitales Abbild des Wertbeitrags der Instandhaltung kann im Weiteren zur Optimierung von Instandhaltungsstrategie und -maßnahmen herangezogen werden (siehe Abbildung 37),

verlangt aber nach einem umfassenden und integrierten Datenmanagement.

Szenario-Prognose anhand des Wertbeitrags

Aufbauend auf dem digitalen Schatten können Instandhaltungsmaßnahmen zum einen hinsichtlich ihres konkreten Wertbeitrags retrospektiv analysiert und zum anderen Prognoseszenarien über den erwarteten Verlauf des Wertbeitrags mit unterschiedlichen Instandhaltungsstrategien (zum Beispiel Predictive Maintenance) entwickelt werden. Entscheidend hierfür ist, in welcher Granularität und Qualität die Daten vorliegen, damit verlässliche Prognosemodelle auf Basis von KI und Maschinellem Lernen konzipiert werden können.

Automatische Entscheidungsfindung anhand des Wertbeitrags der Instandhaltung

Mit dem Wissen, welchen Effekt unterschiedliche Maßnahmen auf den Wertbeitrag der Instandhaltung erwarten lassen,¹⁰⁵ können ausgewählte Entscheidungsprozesse in der Instandhaltung, aber auch darüber hinaus mittels KI automatisiert werden. Hierzu zählen die Wahl der wertbeitragsoptimalen Instandhaltungsstrategie (zum Beispiel Predictive Maintenance), die termingerechte Beschaffung von Ersatzteilen beziehungsweise externen Dienstleistungen oder die Priorisierung der Auftragsplanung in der Instandhaltung ebenso wie in der Produktion anhand des damit verbundenen/prognostizierten Wertbeitrags.

101 | Vgl. Kuhn et al. 2006, S. 18.

102 | Vgl. Blechschmidt et al. 2011, S. 5 f.

103 | Vgl. Schuh et al. 2018, S. 271.

104 | Vgl. Schuh et al. 2017b, S. 121.

105 | Vgl. Lorenz 2011, S. 178.

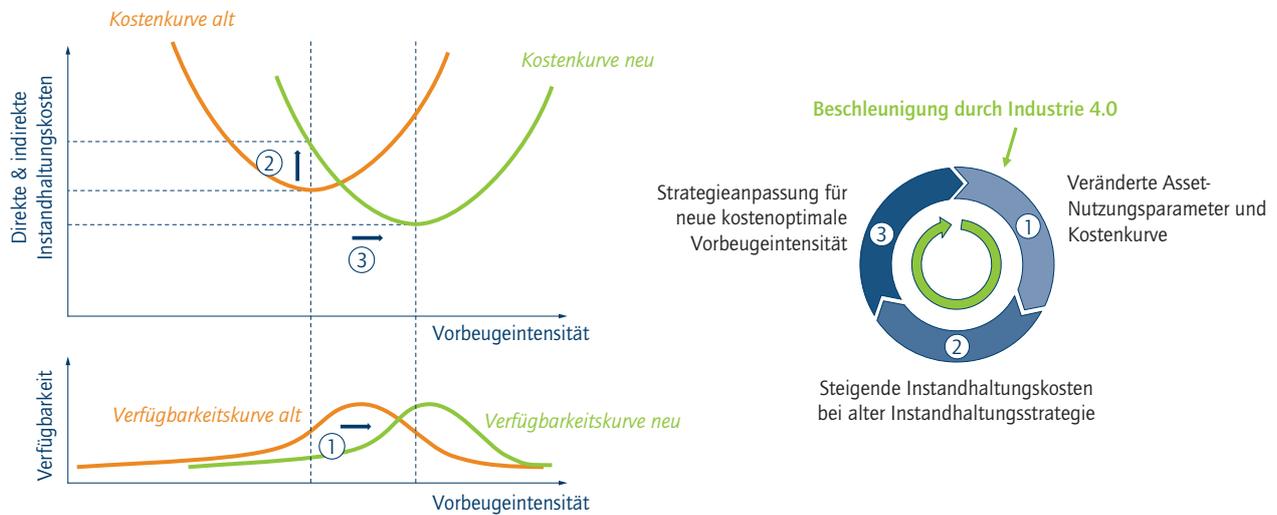


Abbildung 37: Anpassung der Instandhaltungsstrategie in Industrie 4.0 (Quelle: Kampker 2017, S. 10)

6.7 Fazit

Die beschriebenen unterschiedlichen Ausprägungen der sechs Gestaltungsfelder im Rahmen der Smart-Maintenance-Roadmap stellen Meilensteine dar, die Unternehmen bei der eigenen Transformationen ihrer Instandhaltungsorganisation unterstützen. Smart Maintenance sollte jedoch nicht als eine endgültige Entwicklungsstufe betrachtet werden. Vielmehr beschreibt Smart Maintenance das Verständnis um den dazugehörigen Transformationsprozess selbst: erfolgreiche Smart-Maintenance-Unternehmen kennen also die Zusammenhänge, die zwischen den jeweiligen Entwicklungsphasen bestehen und können diese für die Umsetzung der folgenden Transformationsschritte ihrer Instandhaltung aber auch angrenzender Organisationseinheiten nutzen.

Dabei hilft eine zyklische Betrachtung der nachfolgenden vier Schritte, um den Weg zur Smart Maintenance aktiv und zielgerichtet zu gestalten:¹⁰⁶

1. Entwicklung eines gemeinsamen Zielverständnisses
2. Regelmäßige Bestimmung der eigenen Position im Smart-Maintenance-Transformationsprozess
3. Ableitung und Sortierung der Entwicklungsschritte in einer individuellen Roadmap
4. Umsetzung der nächsten Entwicklungsschritte auf Basis der zuvor erledigten „Hausaufgaben“

Den Anfang bildet ein gemeinsames Verständnis darüber, welche Zielvorstellungen im Unternehmen zu Smart Maintenance bestehen. Durch die Ausrichtung der Interessen aller involvierten Stakeholder (neben der Instandhaltung beispielsweise auch Geschäftsführung, Produktion, Qualität, Logistik etc.) an einem gemeinsamen Ziel, kann frühzeitig Akzeptanz für anstehende Veränderungen geschaffen werden.

Weiterhin ist das eigene Wissen darüber, an welcher Stelle des Transformationsprozesses zur Smart Maintenance das eigene Unternehmen sich aktuell befindet, notwendig. Durch die Positionsbestimmung, beispielsweise entlang der vier Gestaltungsfelder des acatech Industrie 4.0 Maturity Index,¹⁰⁷ wird aufgedeckt, welche Fähigkeiten bereits wie gut ausgeprägt sind.

Daran anknüpfend werden Entwicklungspfade festgelegt und die nächsten konkreten Entwicklungsschritte abgeleitet. Hierbei ist auf die unterschiedlichen Zusammenhänge zu achten, die beispielsweise technisch, organisatorisch oder auch kulturell bestehen. Anhand dieser Abhängigkeiten lässt sich die individuelle Smart-Maintenance-Roadmap auch chronologisch aufbauen. Hierdurch wird effektiv vermieden, dass Entwicklungen ohne die dafür notwendigen Grundlagen bzw. „Hausaufgaben“ angestoßen werden.

Das Anstoßen und insbesondere zielorientierte Umsetzen der jeweils nächsten Entwicklungsschritte in Form konkreter

106 | Vgl. Defér et al. 2019.

107 | Vgl. Schuh et al. 2017a.



Projekte folgt hiernach. Neben der Formulierung detaillierter Arbeitspakete ist die Bestimmung quantitativer Messgrößen für ein funktionierendes Projektcontrolling essentiell. Erst hierdurch kann eine effektive und effiziente Umsetzung der Projekte erfolgen, die wiederum zur erneuten Bewertung der eigenen Position und der Realisierung der nächsten Entwicklungsschritte führt.

Eine Smart-Maintenance-Roadmap stellt somit einen zentralen Baustein der Unternehmensstrategie dar, der produzierenden Unternehmen nicht nur bei ihrer Transformation, also der erfolgreichen Gestaltung von Smart Maintenance, begleitet, sondern auch zur nachhaltigen Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit beiträgt.

Literatur

acatech 2015

acatech (Hrsg.): *Smart Maintenance für Smart Factories – Mit intelligenter Instandhaltung die Industrie 4.0 vorantreiben* (acatech POSITION), München 2015.

Adams et al. 2014

Adams, N./Lefort, L./King, P./Prentice, L./Taylor, K./Kambouris, P.: „Equipping Australian Manufacturing for the Information Age: iManufacturing – Is Australia ready?“ In: *Discussion Paper 2014*. URL: <https://www.csiro.au/~media/D61/Files/A4-24pp-Equipping-Aust-Manufacturing-for-Info-Age-white-paper-06-14-spreads-CK4-WEB.pdf> [Stand: 02.04.2019].

Apel 2018

Apel, H. (Hrsg.): *Instandhaltungs- und Servicemanagement. Systeme mit Industrie 4.0*, München: Carl Hanser Verlag 2018.

ARC Advisory Group 2015

ARC Advisory Group: *Proactive Asset management with IIoT and Analytics Summary*, 2015. URL: <https://www.arcweb.com/blog/proactive-asset-management-iiot-analytics> [Stand: 09.04.2019].

Bauernhansl et al. 2019

Bauernhansl, T./Brecher, C./Drossel, W.-G./Gumbach, P./ten Hompel, M./Wolperdinger, M. (Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V.): *Biointelligenz – Eine neue Perspektive für nachhaltige industrielle Wertschöpfung*, Stuttgart: Fraunhofer-Verlag 2019.

Beebe 2004

Beebe, R. S.: *Predictive Maintenance of Pumps using Condition Monitoring*, Amsterdam: Elsevier Science 2004.

Biedermann 2007

Biedermann, H. (Hrsg.): *Wertschöpfendes Instandhaltungs- und Produktionsmanagement. Erfolgreich durch Innovationen in Management und Technologie. Praxiswissen für Ingenieure: Instandhaltung*, Köln: TÜV Media 2007.

Biedermann 2008

Biedermann, H. (Hrsg.): *Ersatzteilmanagement – Effiziente Ersatzteillogistik für Industrieunternehmen*, 2. Auflage, Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag 2008.

Bioökonomie 2019

Bioökonomie BW. URL: <https://www.biooekonomie-bw.de/de/> [Stand: 07.05.2019].

Birtel/Defèr 2019

Birtel, F./Defèr, F.: *Konsortial-Benchmarking Smart Maintenance* Abschlusskonferenz, 101 Vortragsfolien, Aachen 21.05.2019 [nicht öffentlich].

Blechtschmidt et al. 2011

Blechtschmidt, N./März, M./Weck, L.: *ConMoto Studie Wertorientierte Instandhaltung. Die strategische Dimension des Schraubenschlüssels*, ConMoto Consulting Group GmbH, München 2011.

BMBF 2018a

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hrsg.): *Forschung und Innovationen für die Menschen – Die Hightech-Strategie 2025*, Berlin 2018.

BMBF 2018b

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hrsg.): *Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung*, Berlin 2018.

BMBF/BMEL 2014

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)/Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (Hrsg.): *Bioökonomie in Deutschland – Chancen für eine biobasierte und nachhaltige Zukunft*, Berlin 2014.

bpb 2018

Bundeszentrale für politische Bildung (bpb): *Entwicklung des deutschen Außenhandels*. URL: <http://www.bpb.de/nachschlagen/zahlen-und-fakten/globalisierung/52842/aussenhandel> [Stand: 02.04.2019].

Brockhaus 1997

Brockhaus (Hrsg.): *Brockhaus – Die Enzyklopädie*, 20., überarbeitete und aktualisierte Auflage, Leipzig/Mannheim: F.A. Brockhaus GmbH 1997.

Brühl 2015

Brühl, V. (Hrsg.): *Wirtschaft des 21. Jahrhunderts – Herausforderungen in der Hightech-Ökonomie*, Wiesbaden: Springer Fachmedien 2015.



Defèr et al. 2019

Defèr, F./Birtel, F./Frank, J./Jussen, P.: *Smart Maintenance, einfach machen!* (Whitepaper), Hrsg.: G. Schuh/V. Stich, FIR an der RWTH Aachen, Aachen 2019.

Deutscher Industrie 4.0 Index 2018

STAUFEN.AG (Hrsg.), Staufen Digital Neonex GmbH: *Deutscher Industrie 4.0 Index 2018 – Eine Studie der Staufen AG und der Staufen Digital Neonex GmbH*, Köngen 2018.

destatis 2017

Statistisches Bundesamt (destatis): *Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen – Wichtige gesamtwirtschaftliche Größen in Milliarden Euro, Veränderungsrate des Bruttoinlandsprodukts (BIP)*. URL: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen-Inlandsprodukt/Tabellen/inlandsprodukt-gesamtwirtschaft.html> [Stand: 02.04.2019].

destatis 2018

Statistisches Bundesamt (destatis): *Statistisches Jahrbuch 2018 – Kapitel 16 Außenhandel*. URL: https://www.destatis.de/DE/Themen/Querschnitt/Jahrbuch/jb-aussenhandel.pdf?__blob=publicationFile&v=6 [Stand: 02.04.2019].

DIN EN 2017

DIN EN 15341 (2017): *Instandhaltung – Wesentliche Leistungskennzahlen für die Instandhaltung*, Berlin, Deutsches Institut für Normung e. V. 2017.

DIN EN 2018

DIN EN 13306:2018-02: *Instandhaltung – Begriffe der Instandhaltung 2018*.

Döbel et al. 2018

Döbel, I./Leis, M./Vogelsang, M. M./Neustroev, D./Petzka, H./Riemer, A./Rüping, S./Voss, A./Wegele, M./Welz, J.: *Maschinelles Lernen – Eine Analyse zu Kompetenzen, Forschung und Anwendung*, München, Fraunhofer-Gesellschaft. URL: https://www.bigdata.fraunhofer.de/content/dam/bigdata/de/documents/Publikationen/Fraunhofer_Studie_ML_201809.pdf [Stand: 08.05.2019].

EFI 2018

Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) (Hrsg.): *Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2018*, Berlin: EFI 2018.

Fraunhofer IAO 2012

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO (Hrsg.): *Potenziale von Cloud Computing im Handwerk – Aktuelle IT-Unterstützung und Anforderungen an Internet-basierte Lösungen*, Stuttgart 2012.

Fraunhofer IAO 2013

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO (Hrsg.): *Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0*, Stuttgart 2013.

Fridgen et al. 2017

Fridgen, G./Schweizer, A./Radszuwill, S./Urbach, N.: „Entwicklung disruptiver Innovationen mit Blockchain: Der Weg zum richtigen Anwendungsfall.“ In: *Wirtschaftsinformatik & Management*, Wiesbaden: Springer Fachmedien 2017.

Germanwatch 2018

Germanwatch e. V. (Hrsg.): *Chancen und Risiken der Blockchain für die Energiewende*, Bonn, März 2018. URL: www.germanwatch.org/de/15043 [Stand: 19.07.2019].

Gudehus 2005

Gudehus T.: *Logistik. Grundlagen · Strategien · Anwendungen*, 3. Auflage, Berlin: Springer-Verlag 2005.

Hans-Böckler-Stiftung 2003

Hans-Böckler-Stiftung Mitbestimmungs-, Forschungs- und Studienförderungswerk des DGB (Hrsg.): *Integration von Produktion und Instandhaltung*, Düsseldorf, September 2003.

Hess 2019

Hess, T.: *Digitale Transformation strategisch steuern – Vom Zufallstreffer zum systematischen Vorgehen*, Wiesbaden: Springer Verlag 2019.

Hippmann et al. 2018

Hippmann, S./Klingner, R./Leis, M.: „Digitalisierung – Anwendungsfelder und Forschungsziele.“ In: *Digitalisierung – Schlüsseltechnologien für Wirtschaft & Gesellschaft*, Heidelberg/Berlin: Springer Verlag 2018.

Huth/Goele 2013

Huth, M./Goele, H.: *Potenzial der Ersatzteillogistik von produzierenden Unternehmen in der Region Berlin/Brandenburg*, Hrsg.: Hochschule Fulda, Fulda 2013.

ifo Institut 2019

ifo Institut: *Deutschlands Überschuss in der Leistungsbilanz ist abermals gefallen*. URL: <https://www.ifo.de/node/42547> [Stand: 12.06.2019].

ISO 30400:2016

ISO 30400:2016-09: *Personalmanagement – Vokabular* 2016.

ISO/ASTM DIS 52900:2018

ISO/ASTM 52900:2018: *Additive manufacturing – General principles – Terminology* 2018.

ISO/IEC 17788:2014

ISO 17788:2014: *Information technology – Cloud Computing – Overview and vocabulary* 2014.

ISO/IEC 18039:2019

ISO/IEC 18039:2019: *Information technology – Computer graphics, image processing and environmental data representation – Mixed and augmented reality (MAR) reference model* 2019.

ISO/IEC 2382:2015

ISO/IEC 2382:2015: *Information technology – Vocabulary* 2015.

Kampker 2017

Kampker, A./Stich, V. (Hrsg.): *Return on Maintenance. Paradigmenwechsel in der Instandhaltung durch Industrie 4.0* (Whitepaper), FIR an der RWTH Aachen, Aachen 2017.

Kirste/Schürholz 2019

Kirste, M./Schürholz, M.: „Entwicklungswege zur KI.“ In: Wittpahl, V.: *Künstliche Intelligenz – Technologie, Anwendung, Gesellschaft*, Berlin/Heidelberg: Springer Verlag 2019.

Kofler 2018

Kofler, T.: *Das digitale Unternehmen – Systematische Vorgehensweise zur zielgerichteten Digitalisierung*, Berlin: Springer Verlag 2018.

Kuhn et al. 2006

Kuhn, A./Schuh, G./Stahl, B.: *Nachhaltige Instandhaltung. Trends, Potenziale und Handlungsfelder nachhaltiger Instandhaltung*, Frankfurt am Main: VDMA-Verlag 2006.

Leidinger 2014

Leidinger, B.: *Wertorientierte Instandhaltung – Kosten senken, Verfügbarkeit erhalten*, Wiesbaden: Springer Fachmedien 2014.

Lorenz 2011

Lorenz, B.: *Wertorientierte Gestaltung der betrieblichen Instandhaltung*, 1. Auflage, Schriftenreihe Rationalisierung Band 109, Aachen: Apprimus-Verlag 2011.

Maintenance Efficiency Report 2013

T. A. Cook & Partner Consultants GmbH (Hrsg.): *Maintenance Efficiency Report 2013 – Internationale Studie zur Entwicklung der Instandhaltungseffizienz in der Prozessindustrie*, Berlin 2013.

Matyas 2010

Matyas, K.: *Taschenbuch Instandhaltungslogistik*, 4., überarbeitete Auflage, München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG 2010.

Nienke 2018

Nienke, S.: *Ontologie für Energieinformationssysteme produzierender Unternehmen*, 1. Auflage, Schriftenreihe Rationalisierung Band 156, Aachen: Apprimus-Verlag 2018.

North 2016

North, K. (Hrsg.): *Wissensorientierte Unternehmensführung – Wissensmanagement gestalten*, 6. Auflage, Wiesbaden: Springer Fachmedien 2016.

Pawellek 2016

Pawellek, G.: *Integrierte Instandhaltung und Ersatzteillogistik. Vorgehensweisen, Methoden, Tools*, 2. Auflage, Wiesbaden: Springer Vieweg 2016.

Pelzl et al. 2016

Pelzl, N./Seibt, D./Kemper, H.-G./Herzwurm, G./Stelzer, D./Schoder, D.: *Methodische Entwicklung von zukunftsorientierten Geschäftsmodellen im Cloud-Computing*, Lohmar/Köln: Josef Eul Verlag 2016.

Plattform Industrie 4.0/BMWi 2019a

Plattform Industrie 4.0/Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): *Leitbild 2030 für Industrie 4.0. Digitale Ökosysteme global gestalten*. URL: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Standardartikel/leitbild.html> [Stand: 15.07.2019].

Plattform Industrie 4.0/BMWi 2019b

Plattform Industrie 4.0/Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). URL: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/DE/Home/home.html> [Stand: 08.05.2019].

**Rathswohl 2014**

Rathswohl, S.: „Entwicklung eines Modells zur Implementierung eines Wissensmanagement-Systems in kleinen und mittleren Bauunternehmen.“ In: *Schriftenreihe Bauwirtschaft I Forschung 28*, Kassel: kassel university press 2014.

Reichel et al. 2018

Reichel, J./Müller, G./Haeffs, J. (Hrsg.): *Betriebliche Instandhaltung*, Berlin: Springer Vieweg 2018.

Reinheimer 2017

Reinheimer, S. (Hrsg.): *Industrie 4.0. Herausforderungen, Konzepte und Praxisbeispiele*, Wiesbaden: Springer Vieweg 2017.

Schröder et al. 2016

Schröder, G. N./Steinmetz, C./Pereira, C. E./Espindola, D. B.: „Digital Twin Data Modeling with AutomationML and a Communication Methodology for Data Exchange.“ In: *IFAC International Federation of Automatic Control 2016*.

Schuh et al. 2007

Schuh, G./Gottschalk, S./Odak, R./Kempf, M./Kupke, D.: „Verfügbarkeitsorientierte Instandhaltung – Stellhebel zur Aufrechterhaltung und Steigerung der Verfügbarkeit in produzierenden Unternehmen.“ In: *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 102.2007, Heft 9, S. 516–519, 2007.

Schuh et al. 2017a

Schuh, G./Anderl, R./Gausemeier, J./ten Hompel, M./Wahlster, W. (Hrsg.): *Industrie 4.0 Maturity Index. Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten* (acatech STUDIE), München: Utz-Verlag 2017.

Schuh et al. 2017b

Schuh, G./Basse, F./Franzkoch, B./Harzenetter, F./Luckert, M./Prote, J.-P./Reschke, J./Schmitz, S./Stich, V./Tücks, G./Weißkopf, J.: „Change Request im Produktionsbetrieb.“ In: *AWK Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium 2017 Internet of Production für agile Unternehmen*, Hrsg.: G. Schuh/C. Brecher/F. Klocke/R. Schmitt, Aachen: Apprimus, S. 109–131, 2017.

Schuh et al. 2018

Schuh, G./Jussen, P./Harland, T.: *The Digital Shadow of Services: A Reference Model for Comprehensive Data Collection in MRO Services of Machine Manufacturers*, Procedia CIRP 73, S. 271–277, 2018.

Stollenwerk 2016

Stollenwerk, A.: *Wertschöpfungsmanagement im Einkauf. Analysen – Strategien – Methoden – Kennzahlen, 2.*, aktualisierte und erweiterte Auflage, Wiesbaden: Springer Gabler 2016.

Trovarit 2018

Trovarit (Hrsg.): *ERP in der Praxis – Anwenderzufriedenheit, Nutzen und Perspektiven*, Aachen 2018.

Unsworth et al. 2011

Unsworth, K./Adriasola, E./Johnston-Billings, A./Dmitrieva, A./Hodkiewicz, M.: „Goal hierarchy: Improving asset data quality by improving motivation.“ In: *Reliability Engineering & System Safety* 96 (11), S. 1474–1481, 2011.

VDE 2018

VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.: *VDE warnt: Deutschland läuft Künstlicher Intelligenz hinterher*. URL: <https://www.vde.com/de/presse/pressemitteilungen/vde-warnt-deutschland-laeuft-ki-hinterher> [Stand: 12.04.2019].

VDE 2019

VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.: *Zu wenig Investments und fehlende Experten bremsen Deutschland in KI aus*. URL: <https://www.vde.com/de/presse/pressemitteilungen/deutschland-bei-ki-ausgebremst> [Stand: 02.04.2019].

VDMA/KIT 2018

VDMA Forum Industrie 4.0/KIT wbk Institut für Produktionstechnik: *Leitfaden Sensorik für Industrie 4.0 – Wege zu kostengünstigen Sensorsystemen*, Frankfurt am Main 2018.

VDMA/Roland Berger 2017

VDMA, Roland Berger (Hrsg.): *Predictive Maintenance – Service der Zukunft – und wo er wirklich steht*, München, April 2017.

Wolf/Strohschen 2018

Wolf, T./Strohschen, J.-H.: *Digitalisierung: Definition und Reife – Quantitative Bewertung der digitalen Reife*, Berlin/Heidelberg: Springer Verlag 2018.



acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

acatech berät Politik und Gesellschaft, unterstützt die innovationspolitische Willensbildung und vertritt die Technikwissenschaften international. Ihren von Bund und Ländern erteilten Beratungsauftrag erfüllt die Akademie unabhängig, wissenschaftsbasiert und gemeinwohlorientiert. acatech verdeutlicht Chancen und Risiken technologischer Entwicklungen und setzt sich dafür ein, dass aus Ideen Innovationen und aus Innovationen Wohlstand, Wohlfahrt und Lebensqualität erwachsen. acatech bringt Wissenschaft und Wirtschaft zusammen. Die Mitglieder der Akademie sind herausragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Ingenieur- und den Naturwissenschaften, der Medizin sowie aus den Geistes- und Sozialwissenschaften. Die Senatorinnen und Senatoren sind Persönlichkeiten aus technologieorientierten Unternehmen und Vereinigungen sowie den großen Wissenschaftsorganisationen. Neben dem acatech FORUM in München als Hauptsitz unterhält acatech Büros in Berlin und Brüssel.

Weitere Informationen unter www.acatech.de



Herausgeber:

Prof. Dr. Michael Henke

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML
Joseph-von-Fraunhofer-Str. 2-4
44227 Dortmund

Dr.-Ing. Thomas Heller

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML
Joseph-von-Fraunhofer-Str. 2-4
44227 Dortmund

Prof. Dr.-Ing. Volker Stich

FIR e.V. an der RWTH Aachen
Campus-Boulevard 55
52074 Aachen

Reihenherausgeber:

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2019

Geschäftsstelle	Hauptstadtbüro	Brüssel-Büro
Karolinenplatz 4	Pariser Platz 4a	Rue d'Egmont/Egmontstraat 13
80333 München	10117 Berlin	1000 Brüssel (Belgien)
T +49 (0)89/52 03 09-0	T +49 (0)30/2 06 30 96-0	T +32 (0)2/2 13 81-80
F +49 (0)89/52 03 09-900	F +49 (0)30/2 06 30 96-11	F +32 (0)2/2 13 81-89
info@acatech.de		
www.acatech.de		

Vorstand i.S.v. § 26 BGB: Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath, Karl-Heinz Streibich, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Prof. Dr. Reinhard F. Hüttl, Prof. Dr. Hermann Requardt, Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber, Manfred Rauhmeier, Prof. Dr. Martina Schraudner

Empfohlene Zitierweise:

Henke, M./Heller, T./Stich V. (Hrsg.): *Smart Maintenance – Der Weg vom Satus quo zur Zielvision* (acatech STUDIE), München: utzverlag GmbH 2019.

ISSN 2192-6174/ISBN 978-3-8316-4726-2

Bibliografische Information 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.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © utzverlag GmbH • 2019

Koordination: Simone Hornung, Dr.-Ing. Christoph Vornholt

Layout-Konzeption: Groothuis, Hamburg

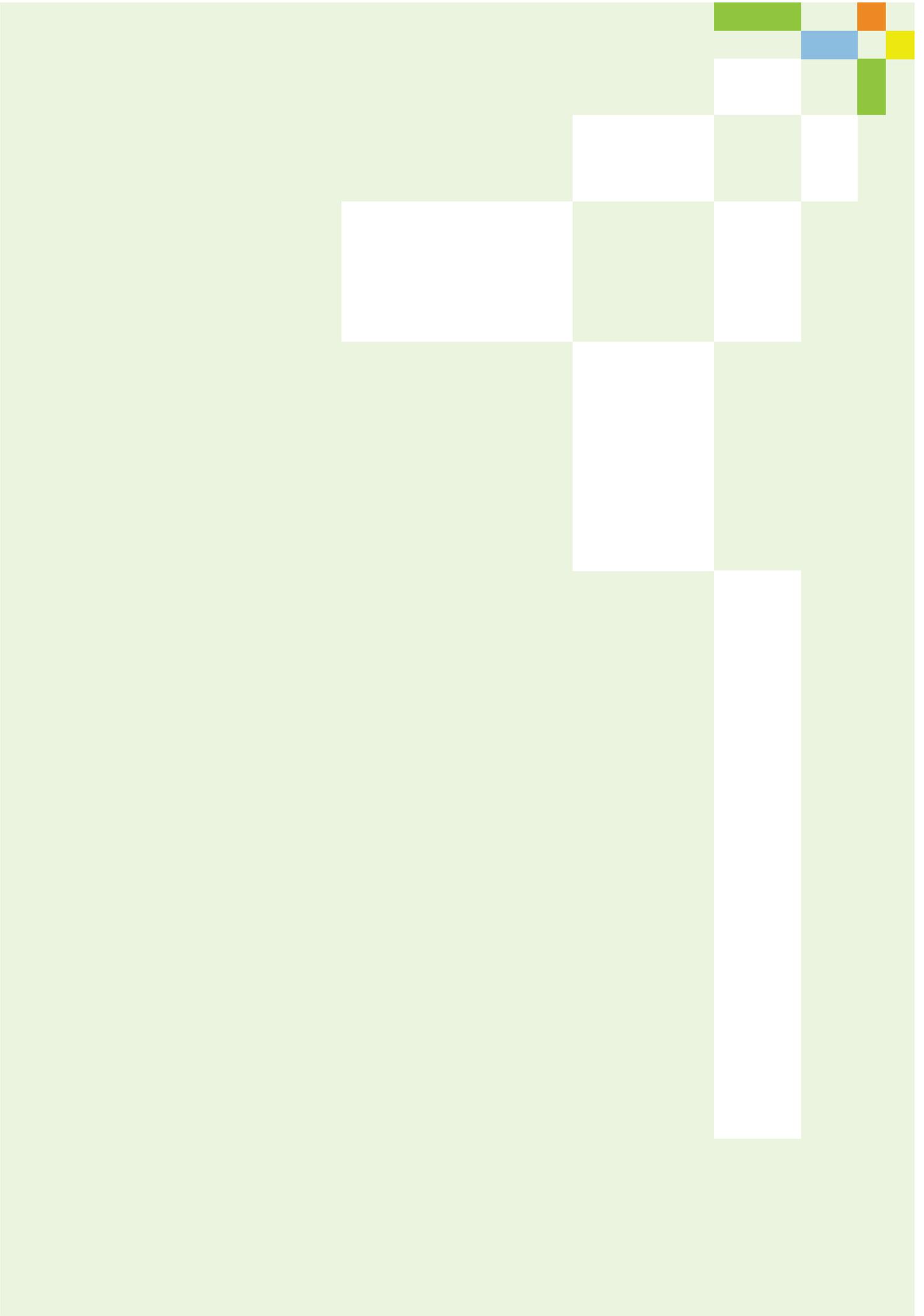
Titel-Bild: iStock/Milos Dimic

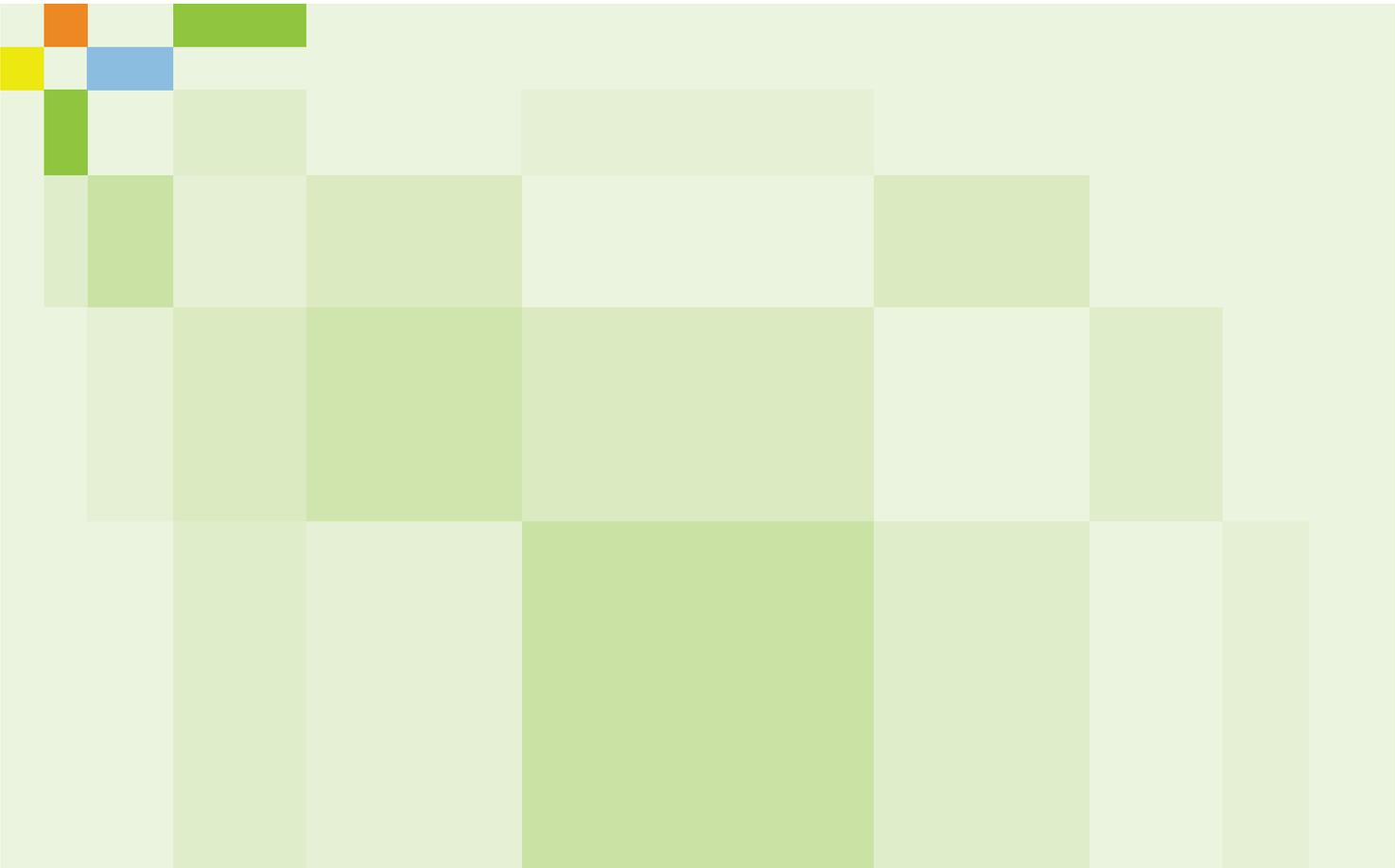
Konvertierung und Satz: Fraunhofer IAIS, Sankt Augustin

Printed in EC

utzverlag GmbH, München

Die Originalfassung der Publikation ist verfügbar auf www.utzverlag.de





Deutschland ist nicht nur Industrie- und Hochlohnland, sondern auch Standort für Spitzentechnologie. Deshalb ist es in besonderem Maße auf die Stärkung und Sicherung der eigenen Wettbewerbsfähigkeit angewiesen. Um diese Wettbewerbsfähigkeit auch zukünftig gewährleisten zu können, bedarf es einer leistungsstarken Instandhaltung von Produktionsanlagen und -komponenten, die die Funktionsfähigkeit sowohl bestehender als auch zukünftiger Produktionssysteme überhaupt erst sicherstellt. Insbesondere in Smart Factories spielen rechtzeitige Instandhaltungsmaßnahmen unter Einbeziehung aller Komponenten und Beteiligten eine bedeutende Rolle. Daher muss sich die Instandhaltung analog zur vernetzten und intelligenten Produktionsumgebung weiterentwickeln – hin zu einer Smart Maintenance.

Die vorliegende acatech STUDIE soll industrielle Unternehmen einerseits befähigen, die Notwendigkeit einer nachhaltigen und innovativen Instandhaltung zu erkennen und andererseits geeignete Maßnahmen abzuleiten, um ebendiese zu realisieren. Auf Basis des ermittelten Status quo werden die Ansatzpunkte herausgearbeitet, die fokussiert werden müssen, um die Instandhaltung hin zu einer Smart Maintenance zu transformieren. Die abschließende Roadmap illustriert ein strukturiertes Vorgehen, sodass die Zielvision von heute der Status quo von morgen wird.

ISBN 978-3-8316-4726-2



9 783831 647262