

Predictive Maintenance: Instandhaltung zukunfts-fähig machen



Predictive Maintenance: Instandhaltung zukunftsfähig machen

Herausgegeben von der PricewaterhouseCoopers GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft

August 2023, 28 Seiten, 12 Abbildungen, Softcover

Alle Rechte vorbehalten. Vervielfältigungen, Mikroverfilmung, die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Medien sind ohne Zustimmung des Herausgebers nicht gestattet.

Die Inhalte dieser Publikation sind zur Information unserer Mandanten bestimmt. Sie entsprechen dem Kenntnisstand der Autoren zum Zeitpunkt der Veröffentlichung. Für die Lösung einschlägiger Probleme greifen Sie bitte auf die in der Publikation angegebenen Quellen zurück oder wenden sich an die genannten Ansprechpartner. Meinungsbeiträge geben die Auffassung der einzelnen Autoren wieder. In den Grafiken kann es zu Rundungsdifferenzen kommen.

Inhaltsverzeichnis

A	Die Herausforderungen der klassischen Instandhaltung	4
B	Predictive Maintenance verstehen.....	6
C	Reifegradstufen in der Instandhaltung	8
D	Reifegradstufen der Digitalisierung	10
E	Initiale Hürden bei der Einführung von Predictive Maintenance.....	12
F	Values und Potenziale.....	14
G	Predictive Maintenance: vom Piloten zur digitalen Fabrik	16
H	Predictive Maintenance und Additive Manufacturing	23
	Ihre Ansprechpersonen	26



A Die Herausforderungen der klassischen Instandhaltung

Die Anforderungen an die Instandhaltung sind im Laufe der Jahre immer vielfältiger und komplexer geworden, die fortschreitende Digitalisierung sowie der demografische Wandel tragen ihr Übriges zur Verschärfung der Situation bei.



Aktuell steht die klassische Instandhaltung vor diesen Herausforderungen:

1

Hohe Kosten

Die herkömmliche Instandhaltung erfordert oft hohe Investitionen in Personal, Ausrüstung und Materialien, damit die notwendigen Wartungs- und Reparaturarbeiten durchgeführt werden können. Zudem können ungeplante Ausfallzeiten und die damit verbundenen Produktivitätseinbußen und Einkommensverluste weitere Kosten verursachen (siehe Abb. 1)

2

Unvorhergesehene Ausfälle

Die klassische Instandhaltung konzentriert sich oft auf das Beheben von Problemen, nachdem sie bereits aufgetreten sind, mit einer höheren Wahrscheinlichkeit zu Ausfällen, die teure Reparaturen erfordern.

3

Mangelnde Effizienz

Traditionelle Wartungsmethoden können ineffizient sein und dazu führen, dass Wartungsarbeiten unnötig lange dauern. Dies kann Produktionsverzögerungen zur Folge haben und sich negativ auf entsprechende Key Performance Indicators (KPIs) auswirken.

4

Schlechte Planung

Nicht selten werden Instandhaltungsmaßnahmen nur dann durchgeführt, wenn Probleme auftreten, und nicht auf Basis festgelegter Wartungszyklen oder vorbeugender Maßnahmen. Dies kann dazu führen, dass wichtige Wartungsarbeiten übersehen oder auch unnötige Wartungsarbeiten durchgeführt werden.

5

Komplexität der Anlagen

Moderne Anlagen und Maschinen werden immer komplexer, was die Instandhaltung schwieriger und zeitaufwendiger macht. Techniker:innen müssen über spezielle Kenntnisse und Fähigkeiten verfügen, um mit den neuen Technologien und der Komplexität der Anlagen Schritt zu halten.

6

Digitalisierung

Die zunehmende Digitalisierung der Industrie eröffnet neue Möglichkeiten für die Instandhaltung wie die Fernüberwachung von Anlagen und die Analyse von Daten zur Vorhersage von Ausfällen. Sie erfordert jedoch auch neue Infrastrukturen, Technologien und Schulungen für das Personal.

7

Fachkräftemangel

In vielen Branchen herrscht ein Mangel an qualifizierten Fachkräften, die über die notwendigen Kenntnisse und Fähigkeiten verfügen, um komplexe Anlagen zu warten und zu reparieren. Unternehmen müssen verstärkt Anstrengungen unternehmen, um ihre Mitarbeiter:innen zu schulen, um den erforderlichen Fachwissensstand aufzubauen und zu pflegen.

8

Budgetbeschränkungen

Die Instandhaltung erfordert oft erhebliche Investitionen in Personal, Werkzeuge und Ersatzteile. Budgetbeschränkungen können verhindern, dass die notwendigen Ressourcen für eine effektive Instandhaltung bereitgestellt werden.

Abb. 1 Ausgaben für die Instandhaltung

Die Ausgaben für die Instandhaltung sind bei einigen Unternehmen höher als der Nettogewinn



Quelle: PwC Deutschland, abgeschlossene Kundenprojekte.

Um diese Herausforderungen nachhaltig zu bewältigen, braucht es heute neue Ansätze und Technologien. Wir möchten Ihnen daher in diesem White Paper eine Strategie vorstellen, die in Verbindung mit den digitalen Möglichkeiten, die es bereits gibt, großes Potenzial

bietet: Predictive Maintenance. Wir zeigen auf, wie Unternehmen diese Instandhaltungsstrategie einsetzen können und wo die Vorteile gegenüber anderen Strategien liegen.

B Predictive Maintenance verstehen



Instandhaltung wird laut DIN 31051 als „Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Betrachtungseinheit zur Erhaltung des funktionsfähigen Zustands oder der Rückführung in diesen, sodass sie die geforderte Funktion erfüllen kann“ verstanden. Instandhaltung umfasst demnach sowohl organisatorische als auch technische Aspekte. Zum besseren Verständnis können drei Ebenen der Instandhaltung unterschieden werden: Maßnahmen, Strategien und Konzepte.

Maßnahmen sind Aufgaben, die von Instandhaltungsmitarbeiter:innen im operativen Betrieb durchgeführt werden. Die Grundmaßnahmen der Instandhaltung sind Instandsetzung, Wartung, Inspektion und Verbesserung. Um diese Maßnahmen zu planen, bedarf es der zweiten Ebene.

Durch die **Strategie** wird für jede Anlage bzw. Anlagengruppe entschieden, welche Maßnahmen auszuführen sind. Schwerpunkt dieses White Papers ist wie bereits angeführt die Strategie „Predictive Maintenance“. Diese vorausschauende Instandhaltung zielt auf die frühzeitige Wartung von Maschinen ab. Dabei kommen Technologien wie maschinelles Lernen und Big-Data-Analysen zum Einsatz. Um von den verschiedenen möglichen Strategien die jeweils richtige für eine Anlage festzulegen, müssen Konzepte entwickelt werden.

Konzepte führen verschiedene Strategien zusammen, um eine optimale Nutzung der vorhandenen Anlagen und Instandhaltungsressourcen sicherzustellen, beispielsweise nach Kostengesichtspunkten. Zu den bekanntesten Konzepten gehören Total Productive Maintenance, Reliability Centered Maintenance und Smart Maintenance.

- Maßnahmen sind Aufgaben, die im operativen Betrieb erledigt werden – Welche Aktionen sind durchzuführen?
- Strategien legen fest, wie und wann eine Maßnahme ausgelöst wird – Wie wird der Auslöser für eine konkrete Maßnahme bestimmt?
- Konzepte beinhalten verschiedene Strategien, um eine optimale Nutzung der vorhandenen Ressourcen sicherzustellen – Wie wird bestimmt, welche Strategien bei welchen Objekten angewendet werden?

Betriebswirtschaftlich entsprechen die Konzepte den Dimensionen des St. Galler Management-Modells: operatives (Maßnahmen), strategisches (Strategie) und normatives Management (Konzept). Die Instandhaltungsorganisation umfasst somit alle Elemente, die in Unternehmen existieren: Anspruchsgruppen, Kultur, interne und externe Prozesse etc.

Um nun zu prüfen, ob Predictive Maintenance für ein Unternehmen gewinnbringend ist, können die verschiedenen Instandhaltungskonzepte herangezogen werden. Dabei ist stets der gesamte Anlagenpark zu betrachten, um betriebswirtschaftlich und kontextbezogen vorzugehen. Zur Feststellung, welche Strategie für welche Maschine oder Anlage lohnend ist, empfehlen sich mehrere Werkzeuge, etwa die Failure Mode and Defect Analysis (FMEA) oder die Kritikalitätsanalyse. Während die FMEA vor allem die Ausfälle klassifiziert, betrachtet die Kritikalitätsanalyse das Risiko eines Ausfalls. Dieses setzt sich zusammen aus den (opportunitären) Ausfallkosten und der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ausfalls. Bei der Risikoanalyse können auch Ausfallkosten berücksichtigt werden, die beispielsweise durch Verlust

der Just-in-Time-Fertigung oder Chemieunfälle entstehen. Aus der Analyse lassen sich Maßnahmen zur Minimierung des Ausfallrisikos einer Maschine oder Anlage ableiten. Mit Blick auf die auftretenden Fehler kann so eingeschätzt werden, ob Predictive Maintenance eine sinnvolle Option ist.

Neben der technischen Betrachtung von Risiken und Fehlern spielen auch organisatorische Faktoren eine Rolle, um Predictive Maintenance richtig einzuführen.

Die Grundlage hierfür bildet oftmals eine Entscheidungsstruktur, die datenbasierte Entscheidungen fördert. Diese Struktur ist nicht nur organisatorischer Natur, auch kulturelle und informationssystematische, ressourcentechnische Grundlagen spielen eine Rolle. All dies kann durch verschiedene technologische Reifegrade abgebildet werden.

Abb. 2 Risikobetrachtung in der Instandhaltung

		Gesundheit und Sicherheit			Umwelt	Produktionsausfall			Instandhaltungskosten		
		Schwere									
		1	5	15	25	50	100	200	400	2.500	7.500
> 1x pro Woche	Häufigkeit	288	1.440	4.320	7.200	14.400	28.800	57.600	115.200	720.000	2.160.000
> 1x pro Monat		72	360	1.080	1.800	3.600	7.200	14.400	28.800	180.000	540.000
> 1x pro 6 Monate		12	60	180	300	600	1.200	2.400	4.800	30.000	90.000
> 1x pro Jahr		6	30	90	150	300	600	1.200	2.400	15.000	45.000
> 1x pro 3 Jahre		2	10	30	50	100	200	400	800	5.000	15.000
< 1x pro 3 Jahre		1	5	15	25	50	100	200	400	2.500	7.500
		0 < 90			90 ≤ 360			> 360			
		normal			wichtig			kritisch			

Klassifizierung der Bewertungsdimensionen und die betreffenden Fehlerschweren

Klassifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeit

Klassifizierung der Kritikalitätsbereiche

C

Reifegradstufen in der Instandhaltung



Wie bereits angeführt ist die reaktive Instandhaltung mit hohen potenziellen Kosten verbunden. Neben der reaktiven Instandhaltung und Predictive Maintenance gibt es weitere Instandhaltungsstrategien; sie bilden ein Spektrum, das sich durch eine zunehmende Risikoreduktion, aber auch durch eine steigende Komplexität bei der Umsetzung auszeichnet (siehe Abb. 3).

Die reaktive Instandhaltung ist die grundlegendste Form der Instandhaltung; sie befasst sich mit der Behebung bereits aufgetretener Probleme oder Fehler. Bei dieser Form gibt es in der Regel keine geplanten Wartungsarbeiten. Dies kann dazu führen, dass Anlagen oder Maschinen häufiger ausfallen und sich dadurch ihre Betriebszeit verkürzt. Ein weiteres Problem ist, dass Fehler oft erst entdeckt werden, wenn sie bereits eine erhebliche Schädigung verursacht haben, was wiederum zu höheren Reparaturkosten führen kann.

Die Preventive Maintenance bzw. vorbeugende Wartung ist eine proaktive Wartungsstrategie, bei der in bestimmten Zeitabständen Wartungsarbeiten durchgeführt werden. Die Wahrscheinlichkeit von Anlagenausfällen soll verringert werden, indem potenzielle Probleme erkannt und behoben werden, bevor sie auftreten. Dies trägt dazu bei, die Zuverlässigkeit der Anlagen zu erhöhen und ungeplante Ausfallzeiten zu minimieren. Der Nachteil ist jedoch, dass es so auch zu unnötigen Wartungsarbeiten kommen kann.

Beim **Condition-based Monitoring** handelt es sich um eine Instandhaltungsstrategie, bei der die Anlagen bzw. Maschinen überwacht werden, um Anzeichen eines möglichen Ausfalls zu erkennen. Die Wartung wird nur dann durchgeführt, wenn der tatsächliche Zustand der Anlage oder Maschine es erfordert. Das trägt dazu bei, die Wartungskosten zu senken und die Zuverlässigkeit der Anlagen zu erhöhen. Der Nachteil ist allerdings, dass Überwachungen und Datenanalysen häufiger vonnöten sind, was kostspielig und zeitaufwendig sein kann.

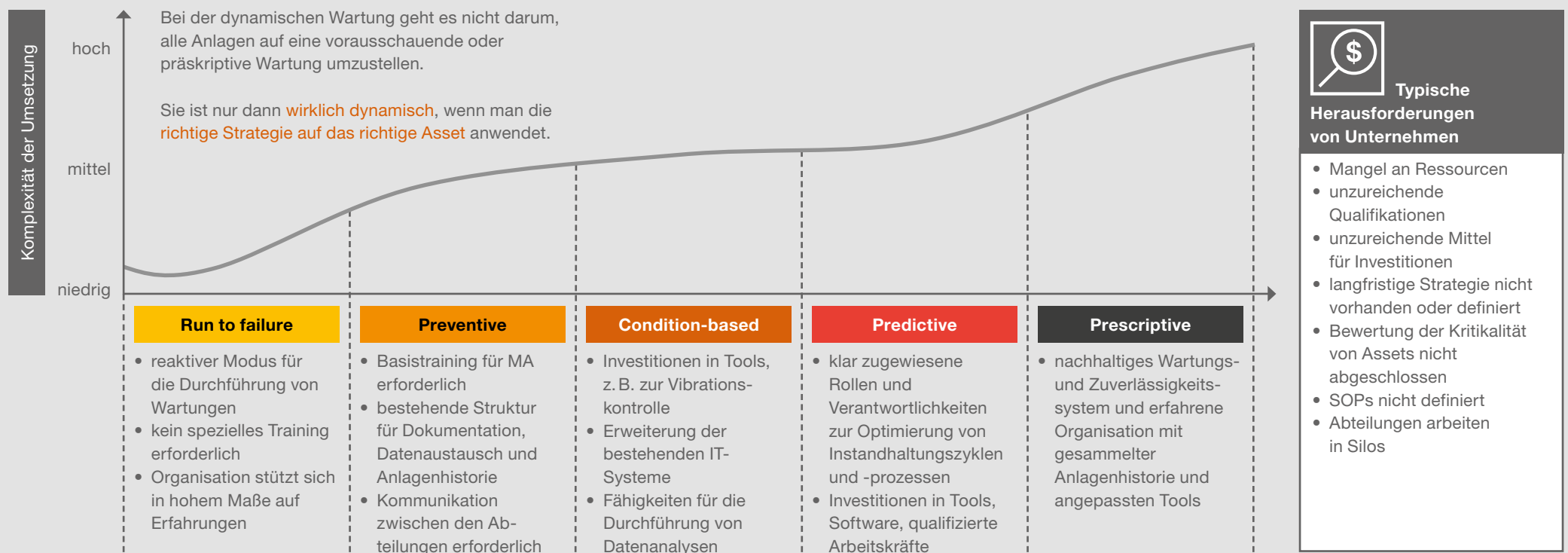
Bei der **Predictive Maintenance** bzw. vorausschauenden Instandhaltung werden mittels fortgeschrittener Technologien wie Sensoren, Datenanalysen und maschinellen Lernens Fehler vorhergesagt und behoben, bevor sie auftreten. Diese Methode der Instandhaltung geht über die reaktive und präventive Instandhaltung hinaus; sie ermöglicht es, Anlagen und Maschinen mit höherer Zuverlässigkeit und Effizienz zu betreiben. Ein wesentlicher Bestandteil vorausschauender Wartung ist der Einsatz von Sensoren, die Daten von Anlagen und Maschinen sammeln. Diese Daten werden analysiert, um potenzielle Fehler und Verschleißerscheinungen zu erkennen. Durch maschinelles Lernen können Prognosen darüber erstellt werden, wann und wo ein Fehler mit welcher Wahrscheinlichkeit auftreten wird. So kann gezielt geplant und gehandelt werden, um diesen Fehler zu vermeiden.

Ein weiterer Vorteil ist, dass sich die Betriebszeit von Anlagen und Maschinen erhöhen lässt, da Probleme frühzeitig erkannt und behoben werden. Die Kosten für Reparaturen können zudem geringer gehalten werden, da die Fehler erkannt und behoben werden, bevor sie eine erhebliche Schädigung verursachen.

Darüber hinaus kann mit **Prescriptive Maintenance** ermittelt werden, wie am besten vorgegangen werden kann, um Ausfälle zu vermeiden. Das Hauptziel dieser Strategie besteht darin, die Anlagenleistung zu optimieren und Ausfallzeiten zu minimieren, indem die Grundursache potenzieller Ausfälle ermittelt und die effektivsten Wartungsmaßnahmen empfohlen werden. Dies trägt dazu bei, die Wartungskosten zu senken, die Zuverlässigkeit der Anlagen zu erhöhen und die Effizienz der Anlagen insgesamt zu verbessern. Der Nachteil ist jedoch, dass dafür ausgefeiltere Datenanalysetechniken erforderlich sind, die noch teurer und zeitaufwendiger hinsichtlich Implementierung und Training sein können.

Es ist wichtig zu wissen, dass die fortschrittlichsten Instandhaltungsstrategien nicht in jedem Fall die beste Lösung sind. Die Wahl der geeigneten Instandhaltungsstrategie hängt von vielen Faktoren ab, zum Beispiel von der Art des Betriebs, der Art und dem Alter der Anlagen und Maschinen oder den verfügbaren Ressourcen. Es kommt daher darauf an, die richtige Instandhaltungsstrategie für die spezifischen Anforderungen des Betriebs auszuwählen und sicherzustellen, dass die verfügbaren Ressourcen effektiv genutzt werden.

Abb. 3 Spektrum der verschiedenen Instandhaltungsstrategien



Quelle: PwC Deutschland.

D

Reifegradstufen der Digitalisierung

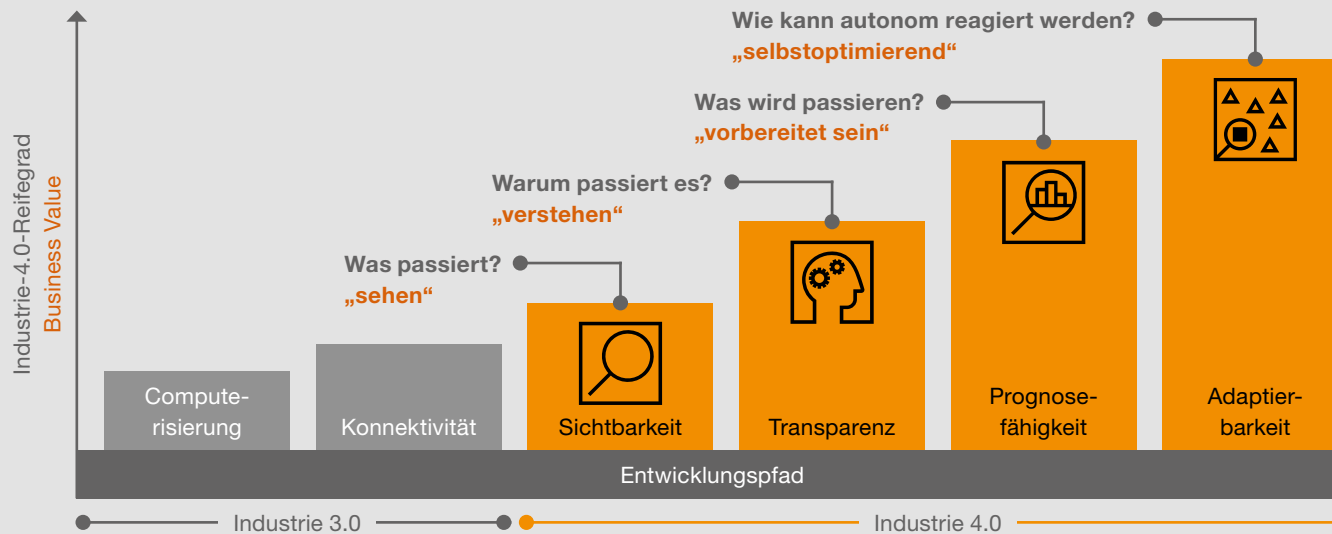


Das Spektrum der nutzbaren Instandhaltungsstrategien ist wie bereits ausgeführt an einen steigenden Digitalisierungsgrad gekoppelt. Die digitale Transformation ist dabei als schrittweiser Prozess zu verstehen. Jedes Unternehmen hat eine individuelle Ausgangssituation, die auch als Reifegrad bezeichnet werden kann. Ob und wie die oben dargestellten Instandhaltungsstrategien umgesetzt werden können, ist eng an den digitalen Reifegrad der Produktion und im weiteren Sinne des Unternehmens geknüpft.

Mit dem Industrie 4.0 Maturity Index lässt sich der digitale Reifegrad eines Unternehmens bemessen. Wir stellen dieses Werkzeug im Folgenden vor, weil so die Schritte der Transformation besser zu verstehen sind, die es braucht, um digitale Technologien wie Predictive Maintenance einsetzen zu können.

Der Index umfasst sechs Reifegradstufen: Computerisierung, Konnektivität, Sichtbarkeit, Transparenz, Prognosefähigkeit sowie Adaptierbarkeit (siehe Abb. 4).

Abb. 4 Industrie 4.0 Maturity Index



Quellen: Schuh, G.; Anderl, R.; Gausemeier J.; Hompel, M. ten; Wahlster, W. (Hg.) (2017): Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies. acatech Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V. München.

Unter „**Computerisierung**“ versteht man die Automatisierung repetitiver Prozesse mithilfe isolierter Technologien; sie ist Voraussetzung für die Digitalisierung eines Unternehmens. Der Datenaustausch zwischen mehreren isolierten Technologien wird als „**Konnektivität**“ bezeichnet. „**Sichtbarkeit**“ meint die Sammlung, Aufbereitung und Darstellung unterschiedlichster Daten, die in einem digitalen Zwilling – beispielsweise von einer Maschine – münden. Ab dieser Stufe können zum Beispiel Projekte für Condition-based Monitoring anvisiert werden.

In der Reifegradstufe „**Transparenz**“ wird der aktuelle Zustand eines Unternehmens vollständig digital abgebildet. Durch die Analyse und Bewertung von Prozessen können Wirkungszusammenhänge beschrieben werden. Auf der Stufe „**Prognosefähigkeit**“ werden mithilfe von Eintrittswahrscheinlichkeiten zukünftige Zustände innerhalb eines Unternehmens vorausgesagt. Auf diese Weise können Entwicklungen und Ereignisse simuliert werden, um daraus präventive Maßnahmen abzuleiten. Der höchste Reifegrad ist mit der Stufe „**Adaptierbarkeit**“ erreicht; sie beschreibt die Fähigkeit eines Unternehmens, bei ausgewählten Prozessen automatisch auf prognostizierte Störungen zu reagieren.



E

Initiale Hürden bei der Einführung von Predictive Maintenance

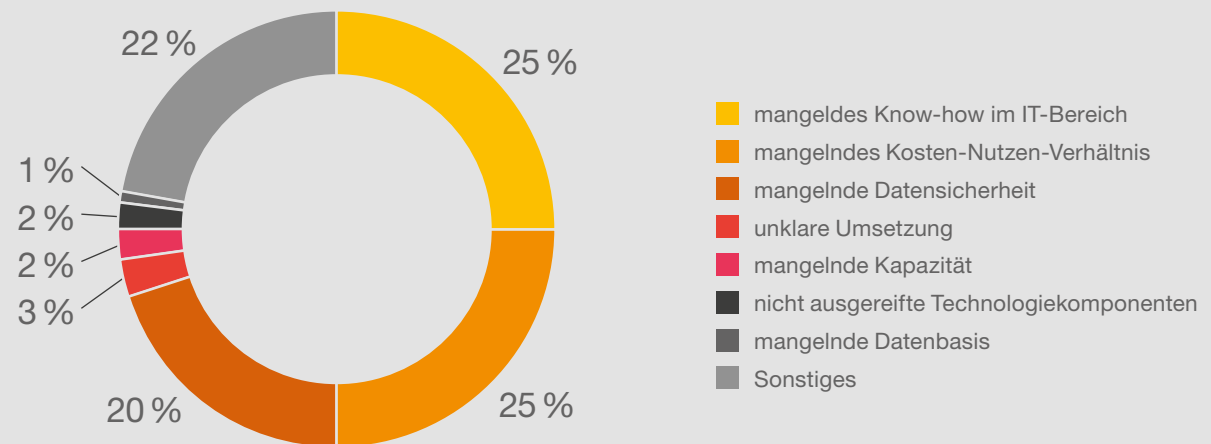


Hindernisse und Herausforderungen können nach den Gestaltungsfeldern des genannten Reifegradindex eingeteilt werden. Henke et al. (2019) haben die in Abbildung 5 angeführten Hindernisse ermittelt. Neben fehlenden IT-Kenntnissen gehören auch mangelnde Datensicherheit sowie ein ungünstiges Kosten-Nutzen-Verhältnis dazu. Die ersten beiden Aspekte stellen Probleme entlang der Gestaltungsfelder dar. Die mangelnden Kenntnisse weisen auf fehlende Ressourcen sowie ein unzureichendes Weiterbildungsprogramm hin und die Bedenken in puncto Datensicherheit auf informationssystematische oder kulturelle Defizite. Einem schlechten Kosten-Nutzen-Verhältnis kann hingegen mit einer strukturierten Auswahl der Anwendungsfälle begegnet werden. Oft sind im Prozess ausreichend Daten vorhanden, deren Qualität reicht aber nicht aus, um eine Vorhersage zu treffen. Auch dieser Umstand lässt sich wieder auf Ressourcen, Informationssysteme, Kultur und Organisationsstrukturen zurückführen. Isolierte Lösungen, bei denen sich die Daten nicht miteinander verbinden

lassen, können nicht zu einem Mehrwert für das gesamte Unternehmen führen. Es gilt, alle verfügbaren Daten zu nutzen und die Datenerfassung auf weitere Maschinen auszudehnen. Bei einem Großteil der Anlagen werden die Daten oft jedoch nicht strukturiert erfasst. Ziel sollte es daher sein, das gesamte Unternehmen entlang des technologischen Reifegrads zu entwickeln, um dann erfolgreiche Pilotprojekte starten zu können.

Predictive Maintenance wird die anderen Strategien nicht vollständig ablösen können. Geplante präventive Maßnahmen und auch reaktive Maßnahmen haben weiterhin ihre Berechtigung. Schließlich bleiben einige Störungen nicht vorhersehbar. Dennoch bietet Predictive Maintenance zahlreiche Vorteile, wenn die Grundlagen dafür gelegt und die geeigneten Prozesse ausgewählt wurden. Dann lässt sich das gesamte Potenzial heben – für die kontinuierliche Verbesserung des Maschinen- und Anlagenparks.

Abb. 5 Herausforderungen von Predictive Maintenance



Quellen: Henke et al (Hg.) (2019): Smart Maintenance – Der Weg vom Status quo zur Zielvision. acatech Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V. München.



F

Values und Potenziale



Wenn mit Predictive Maintenance auf der Grundlage von Datenanalyse und -auswertung der optimale Zeitpunkt für die Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen vorherbestimmt wird, liegt der Mehrwert dieser Strategie vor allem in Vorteilen wie diesen:

Weniger und/oder kürzere Stillstandszeit

Durch das frühzeitige Erkennen möglicher Ausfallgründe kann der beste Reparaturzeitpunkt ermittelt bzw. sich an diesen angenähert werden, um ein Equipment zu reparieren oder Teile auszutauschen. Dadurch reduziert sich die Stillstandszeit von Produktionslinien und des eigentlichen Equipments. Auch lassen sich mögliche Folgeschäden vermeiden, die durch einen plötzlichen Ausfall auch andere im selben Prozess befindliche Equipments betroffen hätten.

Geringere Kosten für Beschaffung und Reparaturausführung

In der Regel können geplante und vorbereitete Arbeiten bis zu 40 Prozent kostengünstiger abgewickelt werden als ungeplante bzw. reaktive Arbeiten. Möglich wird dies durch eine bessere Vorplanung inklusive Materialvorbereitung; die Abwicklung kann dadurch effizienter erfolgen. Zudem können Ersatzteile und Verbrauchsmaterialien frühzeitiger bei größerer Lieferantenauswahl bestellt werden, was sich ebenfalls kostenbegünstigend auswirkt.

Reduzierte Reaktionszeiten

Durch die optimierte Planbarkeit aufgrund der besseren Vorausschaubarkeit können Maintenance-Teams und -Crews effizienter eingesetzt und ausgelastet werden. Dadurch sinken ihre Reaktionszeiten, das heißt die Zeit zwischen Annahme des Maintenance-Auftrags und der Ausführung. Dies sorgt für mehr Kontinuität und ein „ruhigeres“ Arbeiten, was sich positiv auf die Ausführungsqualität und -sicherheit auswirkt.

Erhöhte Planbarkeit von Instandhaltungsmaßnahmen

Durch die frühzeitigere Kenntnis zukünftig aufkommender und notwendiger Instandhaltungsmaßnahmen erhöht sich automatisch auch deren Planbarkeit. Aufträge können sorgfältiger vorgeplant und notwendige Ersatzteile mit größerem Vorlauf bestellt werden. Dies führt zu einer Verbesserung von KPIs wie Planungsgüte, Termineinhaltung und Durchführungsqualität.

Langfristige, hochwertige Datenhistorie

Im Gegensatz zur Preventive Maintenance und auch zu weiteren Maintenance-Strategien, die weniger hoch entwickelt sind, werden ab der Stufe der Predictive Maintenance auf der Basis von Algorithmen und Berechnungsmodellen Daten generiert, die hierfür auch zwingend erforderlich sind. Nur durch das gezielte Sammeln und Auswerten von Daten und einer kontinuierlichen Erweiterung dieser Schritte samt Feedbackschleifen können prädiktive Modelle entwickelt und Instandhaltungsmaßnahmen abgeleitet werden. Im Laufe der Zeit können die Business Cases und Berechnungsmodelle verbessert werden und es entsteht ein qualitativ immer hochwertigerer Datenschatz, der auch für weitere Zwecke wie Produktionsablaufverbesserungen, Energiesparinitiativen oder Ähnliches genutzt werden kann. Ist der Anfang mit den dazugehörigen Systemen und Data Lakes einmal gemacht, bildet das die Grundlage für zukünftige und langfristige Verbesserungen.

Standardisierung von Maßnahmen

Durch das Sammeln aller Parameter und Daten, die zu einer Instandhaltungsmaßnahme gehören, kann langfristig eine Auftragshistorie gebildet werden. Wichtig ist es dabei, Templates für wiederkehrende Maßnahmen zu schaffen, um diese bei kontinuierlicher Verbesserung zunehmend standardisiert abwickeln zu können. Darüber hinaus kann künstliche Intelligenz (KI) eingesetzt werden, um Instandhaltungsaufträge zu optimieren und Planungsschritte weiter zu automatisieren.

Reduzierte Bestände an Ersatzteilen

Durch KI und mithilfe von Berechnungsmodellen kann zudem die Beschaffung und Auswahl von Ersatzteilen optimiert werden. Die auf den Predictive-Maintenance-Daten basierenden Berechnungsmodelle sagen dann unter Berücksichtigung von Saisonalitäten den Verbrauch von Ersatzteilen vorher. Ähnlich wie bei Supply-Chain-

getriebenen Versandanbietern lässt sich also der Verbrauch von Ersatzteilen und Materialien antizipieren und vorbestellen.

Diese Potenziale lassen sich nach der Einführung von Predictive Maintenance schnell quantifizieren und führen zu operativen Verbesserungen in vielerlei Bereichen (siehe Abb. 6).

Abb. 6 Einsparpotenziale Digital Maintenance

Innovationen treiben die Instandhaltung voran

Durch den gezielten Einsatz von **Schlüsseltechnologien** und Datenanalytik haben wir die **Leistung von Assets** während unserer Projekte deutlich verbessert.

Beispiele für die Verbesserungen durch technologie- und analytikgetriebene Veränderungen, in unseren Projekten¹

15 %

Erhöhung der Verfügbarkeit von Material und Ersatzteilkomponenten

18 %

Fixkostensenkung

24 %

Verringerung der HSEQ-bezogenen Risiken

30 %

Produktivitätssteigerung des Wartungsteams

35 %

Verbesserung der Wrench Time von Wartungstechniker:innen

¹ Referenz: abgeschlossene Kundenprojekte in anlagenintensiven Branchen, durch Fallstudien untermauert.

Quelle: PwC Deutschland Kundenprojekte.

12 Mio. Euro

Produktionssteigerung aufgrund erhöhter Betriebszeit

3 Mio. Euro

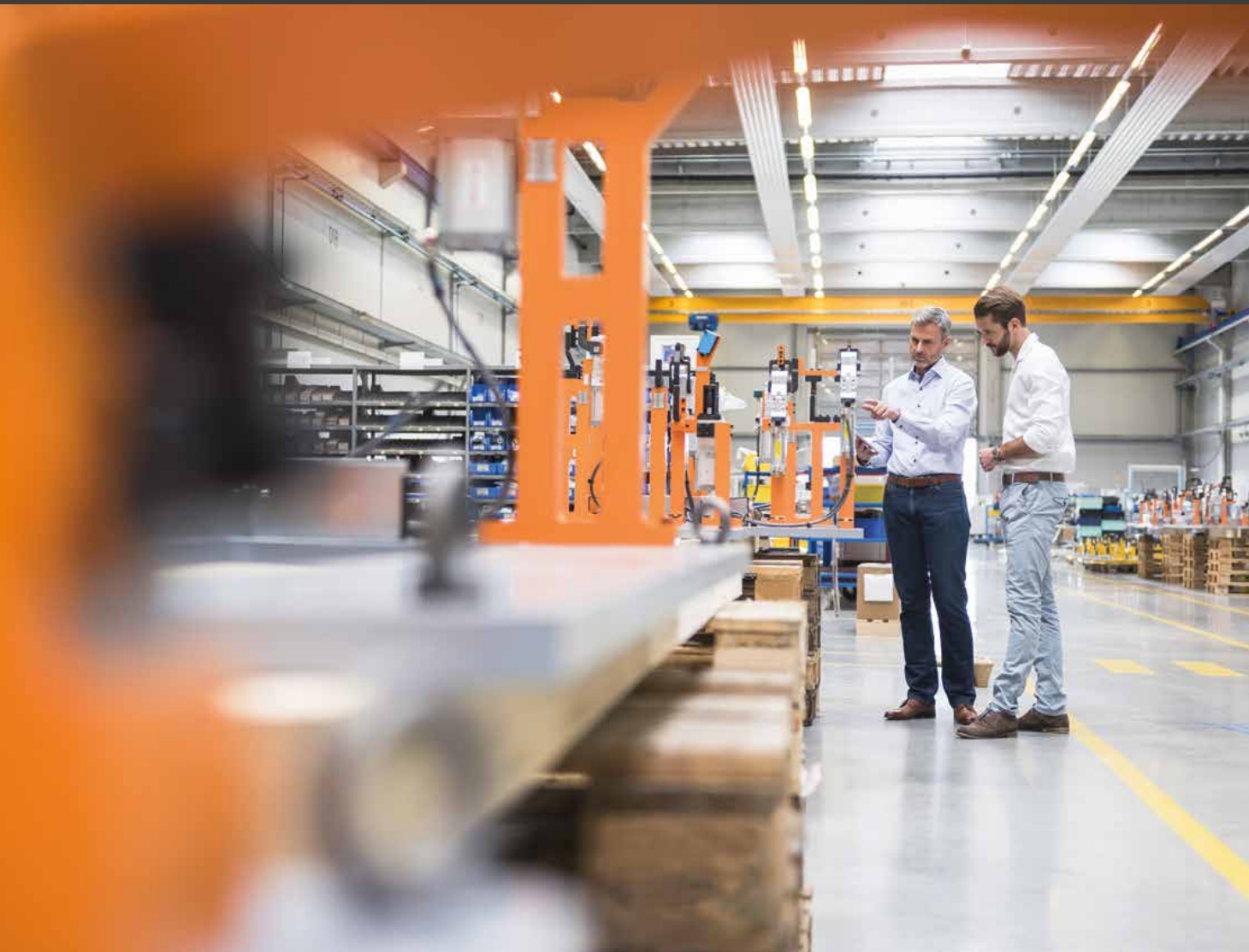
jährliche Einsparung durch Reduzierung der Ersatzteile

6 Mio. Euro

jährliche Kostensenkung bei ausgewählten Anlagen

G

Predictive Maintenance: vom Piloten zur digitalen Fabrik

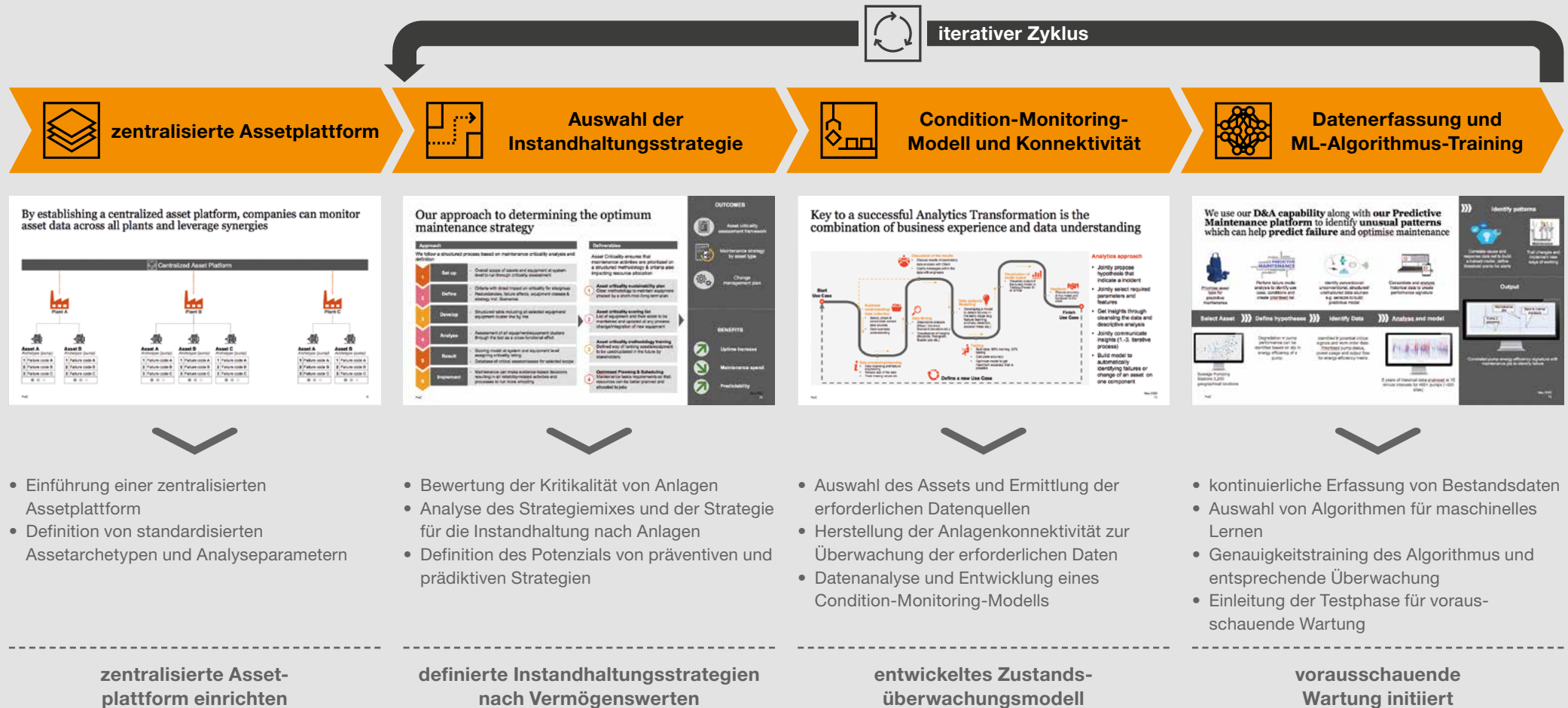


Die Realisierung des beschriebenen Nutzens korreliert stark damit, wie Predictive Maintenance in einem Unternehmen eingeführt und skaliert wird. Es gibt dazu verschiedene Ansätze mit unterschiedlichen Stärken und Schwächen; ihre Anwendung hängt davon ab, ob sich ein Unternehmen in der experimentellen Phase befindet oder Predictive Maintenance bereits als strategischen Pfeiler für die zukünftige Ausrichtung definiert hat.

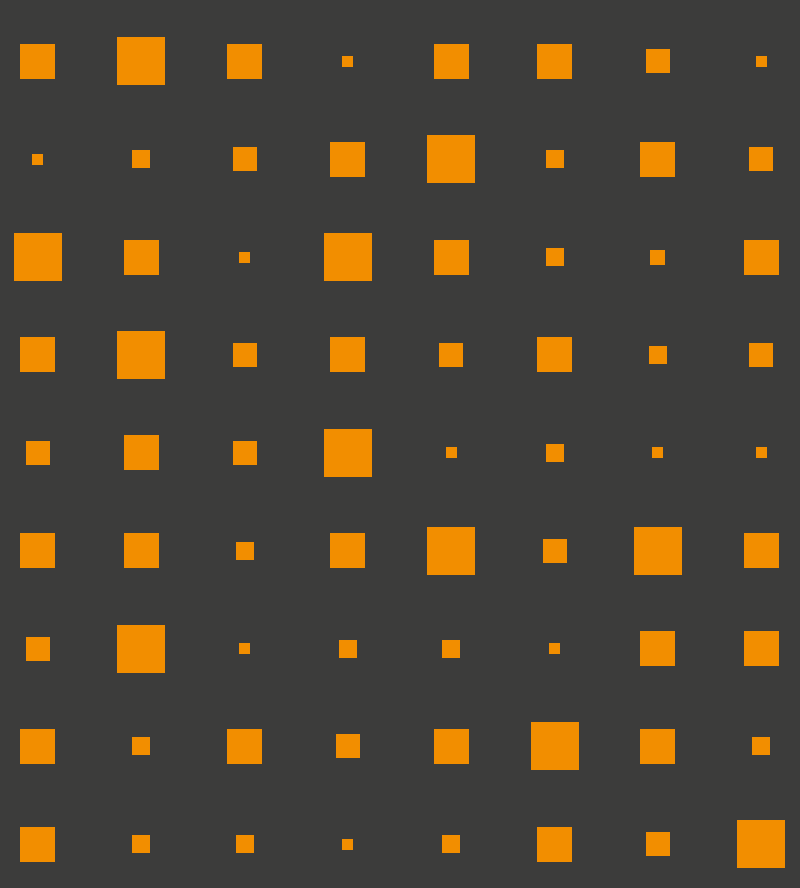
In der experimentellen Phase wird die Anwendbarkeit und der Nutzen von Predictive Maintenance in einer Testumgebung untersucht. Eine Pilotanlage wird ausgewählt, die vorhandenen historischen Maschinen-daten werden analysiert und bei fehlender Datenbasis wird die Anlage mit zusätzlicher Sensortechnik ausgestattet. Anhand aller Daten lassen sich Anlagen-, Equipment- oder Bauteilausfälle vorhersagen. Wird der Nutzen für die Pilotanlage nachgewiesen, kann das Projekt in eine strategische Implementierung überführt und skaliert werden. Dies wird als Validierungs- oder Vorbereitungsphase bezeichnet.

Unabhängig von der Vorschaltung einer Validierungsphase wird nach der erfolgreicher Nutzen-Bestätigung eine zentrale Einführung forciert. Der Fokus liegt dann nicht mehr auf der Untersuchung der Nutzbarkeit, sondern auf der ganzheitlichen und kostenoptimalen Einführung. In vielen unserer Projekte haben sich vier übergeordnete Phasen zur Einführung gezeigt, die sequenziell mit einer iterativen Komponente durchlaufen werden (siehe Abb. 7).

Abb. 7 Ansatz zur Einführung von Predictive Maintenance

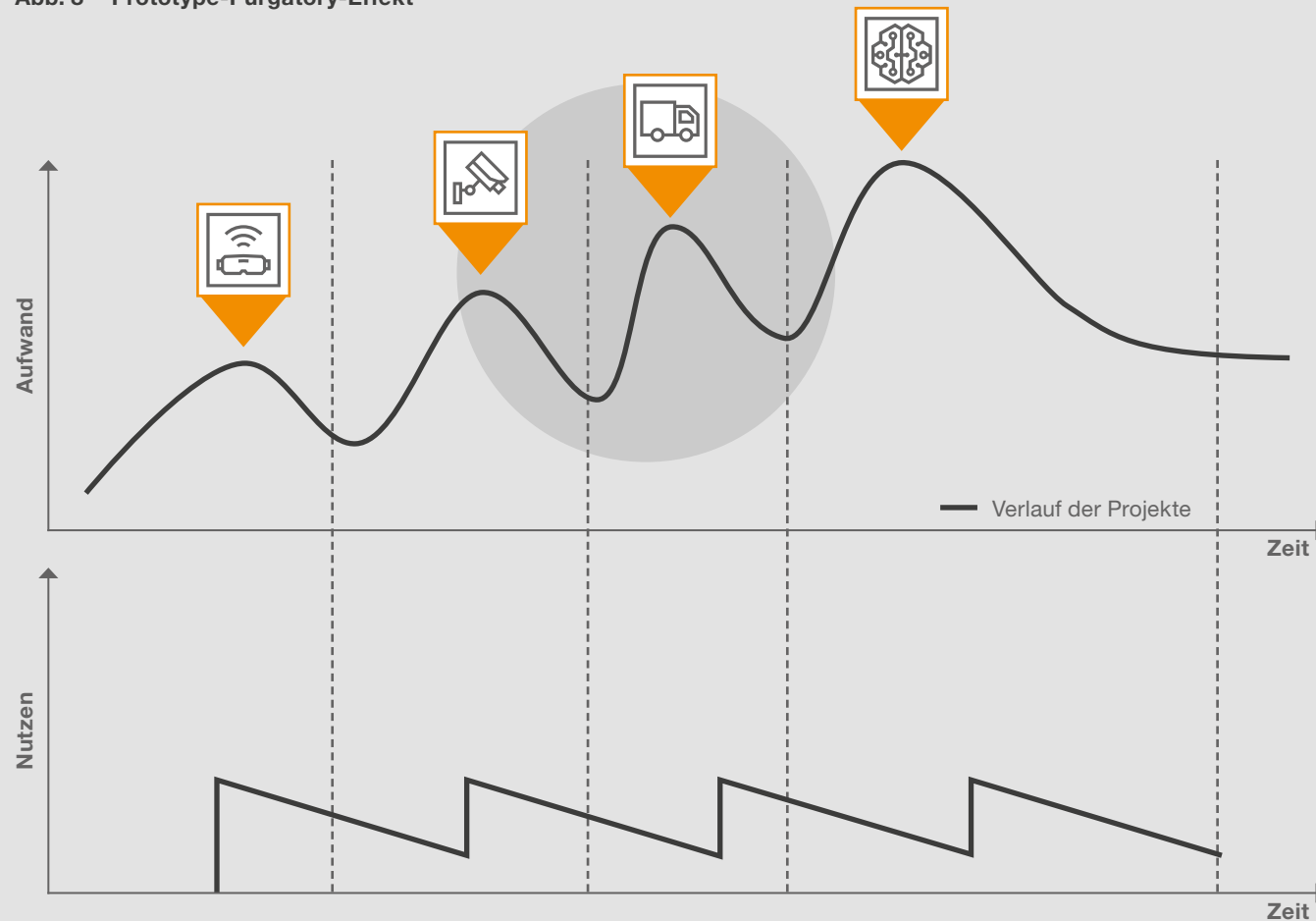


Quelle: PwC Deutschland.



In der ersten Phase, der zentralisierten Assetplattform, wird das Fundament für die Transformation gelegt. Bis zur Implementierung eines Predictive-Maintenance-Use-Case sind viele sukzessive Schritte nötig. Datenquellen müssen zunächst erschlossen und konnektiert werden, danach kann erst mit der Analyse und Ergebnisverwertung begonnen werden. In Unternehmen mit mehreren Arten von Maschinen und ab einer gewissen Größe lohnt es sich, einen skalierbaren Ansatz anzuwenden. Bei diesem wird eine technische Grundstruktur geschaffen, in der die Daten bereits vorliegen und das Erschließen und Konnektieren der Daten signifikant vereinfacht wird. Abbildung 8 veranschaulicht die Vorteile dieses Vorgehens:

Abb. 8 Prototype-Purgatory-Effekt



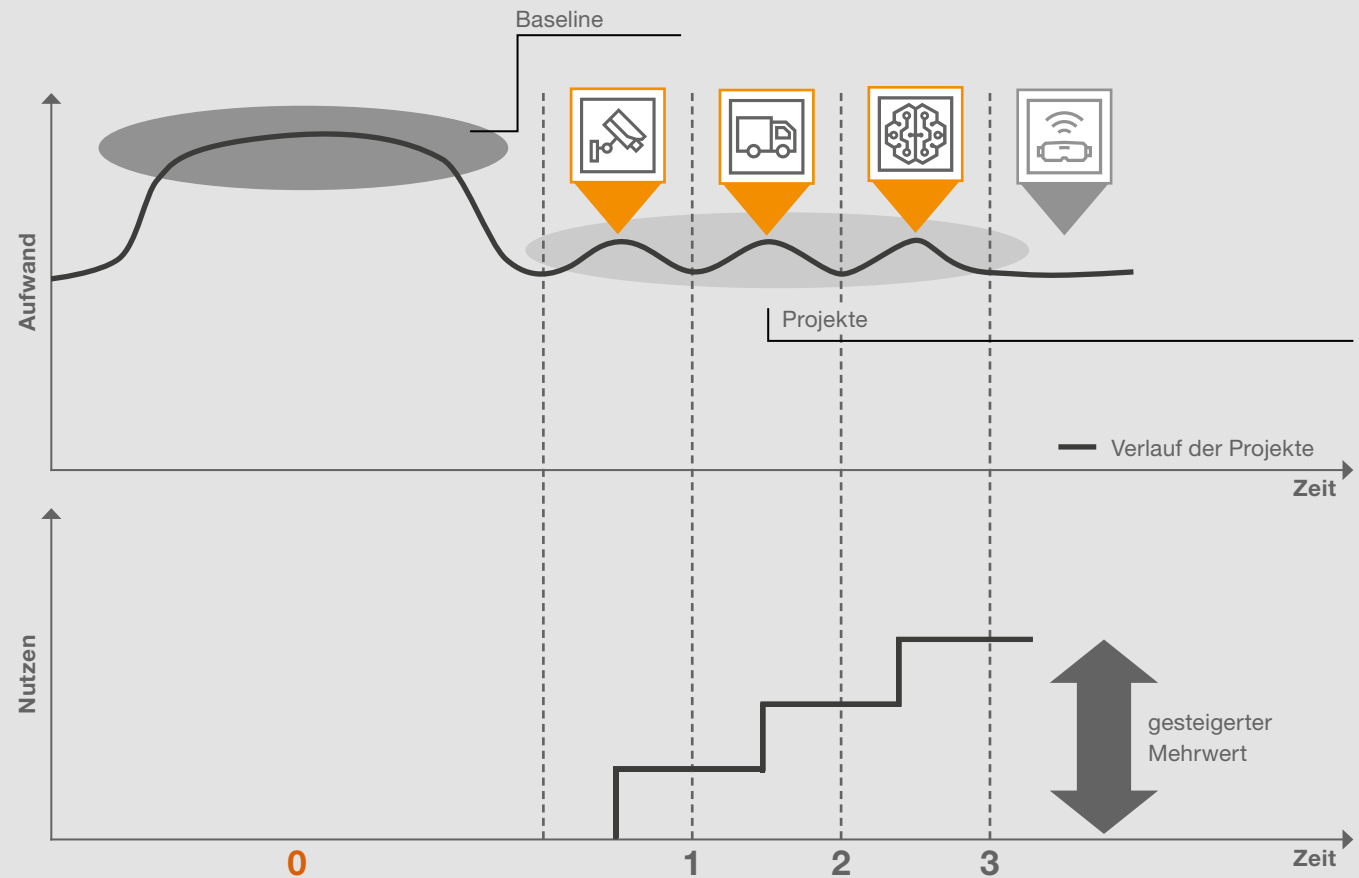
Quelle: FIR e. V. an der RWTH Aachen.

Bei jeder neuen Einführung eines vertikalen Use Case muss hoher Aufwand betrieben werden, um einen gewissen Nutzen zu erreichen. Zudem ist die Pflege mehrerer entkoppelter Datenarchitekturen schwierig. Dies führt zu einer Minderung der Datenverfügbarkeit und der Qualität, wodurch der Nutzen der einzelnen Use Cases abnimmt.

Wird allerdings in einem vorgelagerten Projekt ein Konzept erstellt, mit dem die Verfügbarkeit und die Anbindung von Daten geklärt sowie die organisatorisch-technischen Rahmenbedingungen geschaffen werden, um sofort mit der Analyse zu beginnen, steigt der Mehrwert überproportional (siehe Abb. 9).

Die Einführung neuer Use Cases wird dadurch wesentlich erleichtert, da wiederkehrende Aufgaben bereits zentral gelöst werden. Die Use Cases verlieren durch rigide Datenmodelle, Standards und Rollenkonzepte weniger an Qualität. Wenn eine gemeinsame technische Plattform zur Verteilung und Bereitstellung der Daten genutzt wird, zum Beispiel eine Middleware oder ein Event-Broker, können zudem Synergien zwischen den Use Cases erschlossen werden; dadurch lässt sich der Nutzen überproportional steigern. Um die Anforderungen eines Unternehmens bestmöglich zu erfüllen, gilt es, einen geeigneten Softwareanbieter auszuwählen. In dieser Phase werden zudem zentrale Standards geschaffen, etwa die Definition übergreifender Anlagen-Archetypen und Analyse-Parameter. Dies schafft eine einheitliche Datenbasis und bietet die Möglichkeit, Synergien über Werksgrenzen hinweg zu nutzen.

Abb. 9 Aufbau und Nutzen einer Baseline



Quelle: FIR e. V. an der RWTH Aachen.

Nach dem Aufbau einer zentralen Assetplattform folgt die Phase der Auswahl der Instandhaltungsstrategie für die jeweiligen Assets. Dabei geht es nicht darum, für jede Anlage eine sensorgestützte Instandhaltungsstrategie einzuführen; dies macht nur Sinn, wenn der Nutzen und die Kritikalität bzw. das Risiko einer Anlage

dafürsprechen. Für die Auswahl des optimalen Instandhaltungsstrategie-Mixes empfehlen wir eine strukturierte und unternehmenseinheitliche Vorgehensweise. Abbildung 10 zeigt unseren Ansatz zur Identifizierung der Instandhaltungsstrategie pro Asset:

Abb. 10 Vorgehensweise Instandhaltungsstrategie

Wir gehen nach einem strukturierten Prozess vor, der auf der Analyse und Definition der Kritikalität der Wartung basiert.

1	Vorbereitung	Gesamtumfang der Anlagen und Ausrüstungen auf Systemebene, die einer Kritikalitätsbewertung unterzogen werden sollen
2	Definition	- Kriterien mit direkter Auswirkung auf die Kritikalität für den Standort/eine spezifische Gruppe - Redundanzen, Ausfalleffekte, Equipment-Klassen und -Strategie inklusive Szenarien
3	Entwicklung	strukturierte Tabelle mit allen ausgewählten Equipments/Equipment-Clustern
4	Analyse	funktionsübergreifende Bewertung aller Equipments/ Equipment-Gruppen durch das Tool
5	Ergebnis	- Scoring-Modell auf System- und Equipment-Ebene, das die Kritikalität einstuft - Datenbank der kritischen Assets/Klassen für den ausgewählten Bereich
6	Umsetzung	Die Instandhaltung kann evidenzbasierte Entscheidungen treffen, die dazu führen, dass alle zuverlässigkeitsbezogenen Aktivitäten und Prozesse reibungsloser ablaufen.

Quelle: PwC Deutschland.

Zu Beginn wird der zu untersuchende Umfang festgelegt sowie die Kriterien zur Bewertung der Anlagen. Danach folgt die Analyse der Anlagen und Einordnung in ein Scoring-Modell. Um eine ganzheitliche Bewertung der Anlagen zu erhalten, kann ein Asset-Criticality-Assessment durchgeführt werden. Nach der Klassifizierung hinsichtlich Kritikalität und Risiko werden für relevante Anlagen Business-Case-Berechnungen durchgeführt, die den Nutzen der Instandhaltungsstrategien quantifizieren. Dabei werden die Nutzentreiber identifiziert. Diese werden anschließend auf der Basis von empirischen Werten und Expert:inneneinschätzungen in Potenziale umgerechnet. Hierfür wird das Prinzip der Triangulation genutzt, um eine möglichst genaue Einschätzung des Potenzials zu erreichen. Im nächsten Schritt folgt die Ermittlung und Quantifizierung der Kostentreiber, die dem Nutzen gegenübergestellt werden, welches im Business-Case für den Anwendungsfall resultiert. Aus diesen Analysen ergibt sich eine Auswahl an Anlagen, für die Predictive Maintenance wirtschaftlich anwendbar ist.

In der dritten Phase, dem Aufbau des Condition-Monitoring-Modells und der Anlagenkonnektivität, werden für die definierten Assets die benötigten Datenquellen ausgewählt. Anschließend wird überprüft, welche Daten bereits nutzbar sind oder für welche Assets zusätzliche Sensortechnik einzuführen ist. Nach dem Aufbau der Anlagenkonnektivität erfolgt die Entwicklung eines Condition-Monitoring-Modells. Hier muss die Businessexpertise mit dem technischen Daten-Know-how verknüpft werden. Einen typischen Ansatz zur strukturierten Erarbeitung von digitalen Use Cases zeigt Abbildung 11.

Abb. 11 Vorgehensweise zur Entwicklung digitaler Use Cases



Quelle: PwC Deutschland.

Das hieraus resultierende Modell beschreibt die Korrelation zwischen Analyse-/Sensorparametern und dem Zustand einer Anlage oder eines Bauteils. Der Zustand einer Anlage kann nun in Echtzeit nachvollzogen werden, sodass sich entsprechende Maßnahmen auf der Basis von Grenzwertüberschreitungen einleiten lassen. Wie bereits beschrieben besteht der Unterschied zur Predictive Maintenance darin, dass aufgrund der geringen Datenbasis nur Informationen über die Gegenwart vorliegen und daher keine Prognosen über künftige Ausfälle anhand großer historischer Datenmengen getroffen werden können.

Der Schritt von Condition Monitoring zu Predictive Maintenance erfolgt in der letzten Phase. Durch die kontinuierliche Sammlung von Asset-Daten wird die Datenbasis stetig verfeinert. Dadurch wird es möglich, diese durch selbstlernende KI zu analysieren. Hierfür wird zunächst ein Machine-Learning-Algorithmus ausgewählt, der dann mithilfe historischer Daten trainiert wird. Anschließend werden in einer Testphase vorausschauende Entscheidungen getroffen, die mit der

tatsächlichen Performance verglichen werden. Wird schließlich die zuvor definierte Genauigkeit erreicht, wird das System aktiviert – die Einführung von Predictive Maintenance für diese Anlage ist damit abgeschlossen. In iterativen Zyklen wird der Vorgang der richtigen Auswahl der Instandhaltungsstrategie erneut gestartet, um die Instandhaltungsstrategie zu verfeinern und die Bewertung von Neuanlagen vorzunehmen. Dies führt zu einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess.



H Predictive Maintenance und Additive Manufacturing



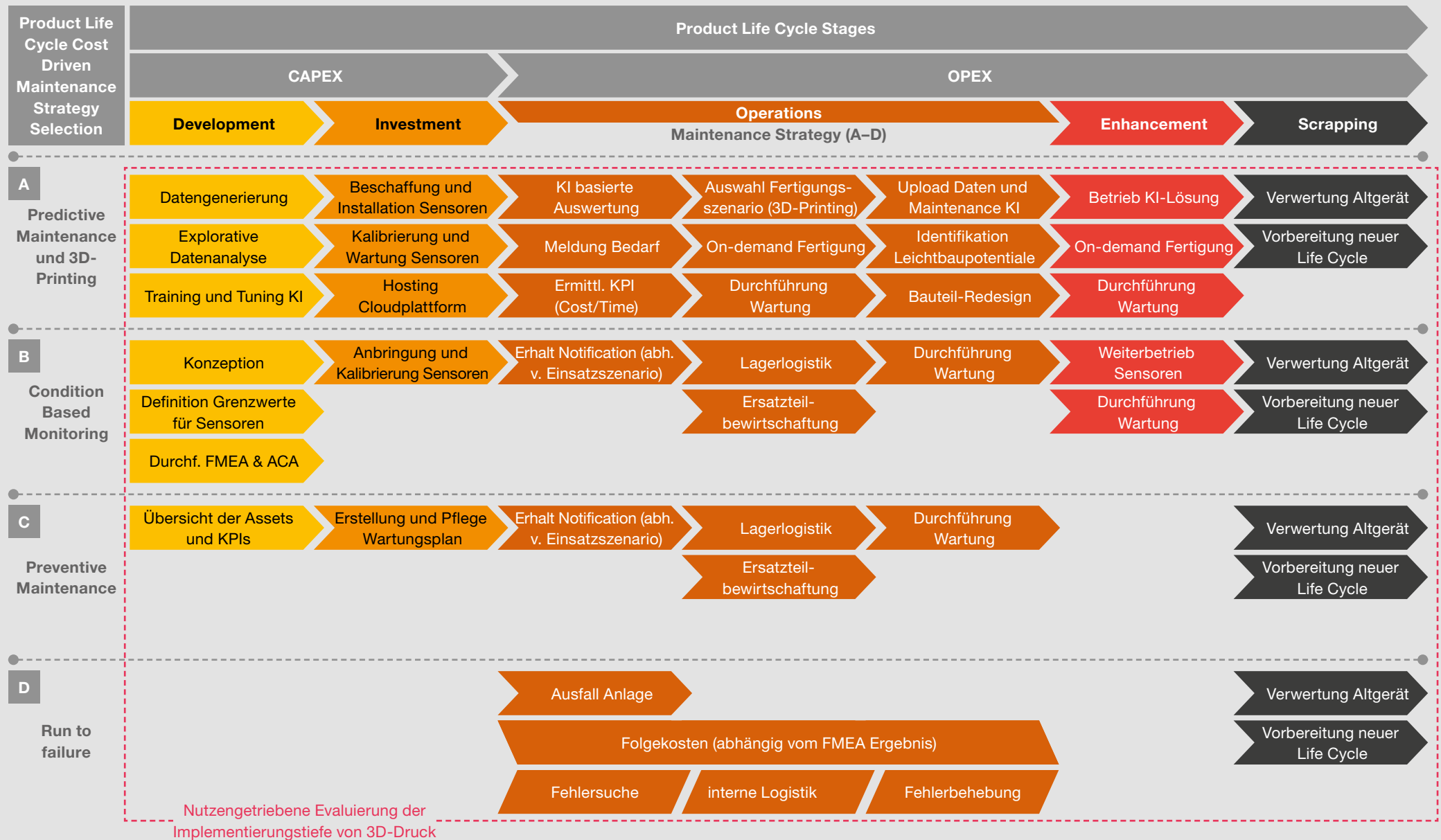
Im Ersatzteilmanagement tragen additive Fertigungsverfahren, die gegenüber konventionellen Fertigungsverfahren immer wettbewerbsfähiger werden, wesentlich dazu bei, in Verbindung mit Predictive Maintenance Kosten zu sparen und die Verfügbarkeit von Ersatzteilen zu erhöhen. Beides zusammen erweist sich gerade in Unternehmen mit zahlreichen Assets als vielversprechend.

Der Prozess einer Predictive-Maintenance-Lösung in Kombination mit Additive Manufacturing läuft wie folgt ab (siehe dazu auch Abb. 12).

Die im Betrieb befindlichen und mit Sensoren versehenen Bauteile senden Messdaten an eine IoT-Plattform, die an eine trainierte KI angebunden ist. Diese wiederum wertet die Daten kontinuierlich in Echtzeit aus, um etwaige Defekte vorherzusagen und zugleich den Algorithmus zu verbessern. Wird eine Anomalie erkannt, wird eine entsprechende Bedarfsmeldung generiert. Daraufhin wird die optimale Fertigungs- und Lieferart ermittelt, wobei die Wettbewerbsfaktoren Kosten, Zeit und Qualität für infrage kommenden Fertigungs- und Lieferszenarien berücksichtigt werden. Im Fall der additiven Fertigung kann nun bedarfsgerecht gefertigt und das Bauteil anschließend genutzt werden.

Zu den Kosten gehören die Ausgaben für die Datenvorbereitung, die Maschinenvorbereitung, die Fertigung an der Anlage, das Entpacken des Bauteils und die Nachbearbeitung, die sich in Wärmebehandlung und Entfernung von Supportmaterial (Stützkonstruktionen) unterteilt. Die Fertigungszeit als zweiter Wettbewerbsfaktor umfasst die Zeit für das Heizen und Fluten des Bauraums mit Schutzgas, die Dauer der Fertigung, bei der ein oder mehrere Laser ein Bauteilvolumen schichtweise mit einer bestimmten Volumenrate fertigen, die Zeit der Beschichtung, die wesentlich durch die Höhe des Bauteils vorgegeben wird, sowie die Abkühlzeit der Anlage. Diese Größen bestimmen im Wesentlichen die Verfügbarkeit eines additiv gefertigten Ersatzteils. Für den dritten Wettbewerbsfaktor, die Qualität, gehen wir in diesem White Paper davon aus, dass diese keine variable Größe ist. Je nach industriellem Anwendungsfall kann jedoch das Qualitätsniveau verringert werden, wodurch sowohl Kosten als auch Zeit deutlich geringer ausfallen können. Der genaue Zusammenhang zwischen Qualität, Kosten und Zeit ist oftmals nur schwer und unter hohem Simulationsaufwand zu ermitteln. Wir verfügen über eine patentierte Methode, um die Korrelation zwischen Qualität, Kosten und Zeit quantitativ zu bestimmen und damit neben Kosten und Zeit auch die Dimension der Qualität mit Blick auf den jeweiligen Anwendungsfall zu optimieren.

Abb. 12 Life Cycle Cost basierte Auswahl der geeignetsten Fertigungsstrategie und nutzengetriebene Evaluierung der Implementierungstiefe von 3D-Druck in die Instandhaltung



Zur Evaluierung des Nutzens der additiven Fertigung in der Instandhaltung bewerten wir deren Einfluss auf die Lebenszykluskosten von Assets. Abb. 12 zeigt dazu die erforderlichen Schritte der jeweiligen Instandhaltungsstrategie entlang des Lebenszyklus. Insbesondere die prädiktive Instandhaltung erzeugt aufgrund ihrer Komplexität und dem Umfang für die Implementierung oft hohe Kosten. Dem gegenüber stehen insbesondere in Verbindung mit additiver Fertigung eine hohe Flexibilität und die maximale Ausreizung der Assets durch die Vermeidung nicht notwendiger Instandhaltungsmaßnahmen, die auf zeit- oder leistungsbezogenen Daten beruhen. Zur Integration von Predictive Maintenance und Additiver Fertigung sind mehrere Schritte erforderlich. Zunächst erfolgt die Entwicklung und Vorbereitung des KI-Algorithmus. Im nachfolgenden Schritt sind Investitionen zu tätigen, die die Beschaffung, Inbetriebnahme und Kalibrierung der Sensoren, sowie die Cloud Plattform umfassen. Im Betrieb können nun Auswertungen in Echtzeit durchgeführt werden. Diese erlauben, Assets so lange zu betreiben, bis ein Austausch erforderlich wird. Hier können Lagerkosten eingespart werden, da Ersatzteile von der Cloud Manufacturing Plattform so gefertigt werden, dass diese just-in-time für die Instandhaltungsmaßnahme bereitgestellt werden. Bei einer Anbindung der Bauteile an die Plattform, können Schwachstellen im Design erkannt werden und auf Grundlage der Betriebsdaten Designentwürfe automatisiert kontinuierlich angepasst werden, um die Lebensdauer der Bauteile zu erhöhen und so die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber anderen Instandhaltungsstrategien weiter zu steigern. Wenn die Lebensdauer von großen Assets verlängert wird,

entstehen hierdurch oftmals hohe Kosten, da die Verfügbarkeit von Ersatzteilen regelmäßig nicht mehr gegeben ist. Hier kann die Cloud Manufacturing Plattform weitere Wettbewerbsvorteile erschließen. Abschließend wird das Altgerät verwertet und kann hierbei in Pulverform zurückgeführt werden, wodurch eine Kreislaufwirtschaft ermöglicht wird.

Ein wesentlicher Faktor für deutliche Kosteneinsparungen ist die Optimierung der Bauteile für die additive Fertigung, das Design for Additive Manufacturing (DfAM). Hier lassen sich durch ein fertigungsgerechtes Bauteildesign die Kosten im additiven Fertigungsverfahren gegenüber konventionellen Verfahren um bis zu 80 Prozent senken. Eine Anbindung an die Cloud als sogenanntes Cyber-Manufacturing-System, durch die in Echtzeit Prozesse angepasst werden können, ermöglicht eine weitere Reduktion der Fertigungskosten um bis zu 70 Prozent gegenüber dem DfAM-Szenario.

Wir weisen darauf hin, dass die Potenziale je nach individuellem Anwendungsfall stark variieren können; auch weil beispielsweise weitere Hebel zur finanziellen Wirksamkeit in Betracht kommen, wie etwa Strafzahlungen oder produktionsausfallbedingte Folgekosten. Es lässt sich auf jeden Fall festhalten, dass additive Fertigungsverfahren für die Ersatzteilbewirtschaftung ein enormes Potenzial hinsichtlich Kosten und Verfügbarkeit bieten, das sich in geopolitischen Krisen mit negativen Auswirkungen auf globale Lieferketten noch vergrößert. Mit der patentierten Vorgehensweise, die wir hier kurz vorgestellt haben, lassen sich weitere Kostenpotenziale erschließen.

Ihre Ansprechpersonen

Autoren PwC



Matthias Gentzik

Lead Smart Maintenance
Mobiltel.: +49 1517 2838104
matthias.gentzik@pwc.com



Lars Münnich

Asset Health & APM
Mobiltel.: +49 170 4447051
lars.muennich@pwc.com



Alexander Braun

Lead Smart Services
Mobiltel.: +49 1516 1580651
alexander.braun@pwc.com



Alexander Großmann

Additive manufacturing
Mobiltel.: +49 160 90127586
alexander.grossmann@pwc.com

Über uns

Unsere Mandanten stehen tagtäglich vor vielfältigen Aufgaben, möchten neue Ideen umsetzen und suchen unseren Rat. Sie erwarten, dass wir sie ganzheitlich betreuen und praxisorientierte Lösungen mit größtmöglichem Nutzen entwickeln. Deshalb setzen wir für jeden Mandanten, ob Global Player, Familienunternehmen oder kommunaler Träger, unser gesamtes Potenzial ein: Erfahrung, Branchenkenntnis, Fachwissen, Qualitätsanspruch, Innovationskraft und die Ressourcen unseres Expert:innennetzwerks in 152 Ländern. Besonders wichtig ist uns die vertrauensvolle Zusammenarbeit mit unseren Mandanten, denn je besser wir sie kennen und verstehen, umso gezielter können wir sie unterstützen.

PwC Deutschland. Mehr als 13.000 engagierte Menschen an 21 Standorten. Knapp 2,61 Mrd. Euro Gesamtleistung. Führende Wirtschaftsprüfungs- und Beratungsgesellschaft in Deutschland.

Autoren FIR RWTH



Justus Benning

Stellvertretender Bereichsleiter
Informationsmanagement
Mobilitel.: +49 177 579 0407
justus.benning@fir.rwth-aachen.de



Stefan Kokorski

Smart Maintenance
Mobilitel.: +49 177 5790415
stefan.kokorski@fir.rwth-aachen.de

Über das FIR

Forschung. Innovation. Realisierung.

Das FIR ist eine gemeinnützige, branchenübergreifende Forschungs- und Ausbildungseinrichtung an der RWTH Aachen auf dem Gebiet der Betriebsorganisation, Informationslogistik und Unternehmens-IT mit dem Ziel, die organisationalen Grundlagen zu schaffen für das digital vernetzte industrielle Unternehmen der Zukunft.

Mit Erforschung und Transfer innovativer Lösungen leistet das FIR einen Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen. Dies erfolgt in der geeigneten Infrastruktur zur experimentellen Organisationsforschung methodisch fundiert, wissenschaftlich rigoros und unter direkter Beteiligung von Expert:innen und Experten aus der Wirtschaft. Im Zentrum der Betrachtung liegen die industriellen Anwendungsfälle: Future Logistics, Smart Services und Smart Maintenance, Smart Commercial Buildings und Smart Mobility.

Das Institut begleitet Unternehmen, forscht, qualifiziert und lehrt in den Bereichen Dienstleistungsmanagement, Business-Transformation, Informationsmanagement, Produktionsmanagement und Smart Work. Zur Stärkung des Standorts NRW unterstützt das FIR als Johannes-Rau-Forschungsinstitut zudem die Forschungsstrategie des Landes und beteiligt sich an den entsprechenden Landesclustern. Als Mitglied der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen fördert das FIR die Forschung und Entwicklung zugunsten kleiner, mittlerer und großer Unternehmen.

Das FIR ist zudem leitendes Institut des Clusters Smart Logistik auf dem RWTH Aachen Campus. Ziel des Clusters ist die durchgängige Gestaltung eines agilen und lernenden Unternehmens, das sich schnell und adaptiv auf die sich wandelnden Veränderungen und Einflüsse des Marktes einstellen kann. Vertreter:innen aus Industrie und Forschung widmen sich daher in einer einzigartigen Form der Zusammenarbeit und Infrastruktur, bestehend aus Innovationslaboren und Demonstrationsfabrik, Fragestellungen rund um die Integration von IT-Systemen, deren Vernetzung von Objekten sowie der Realisierung neuer Geschäftsmodelle.

