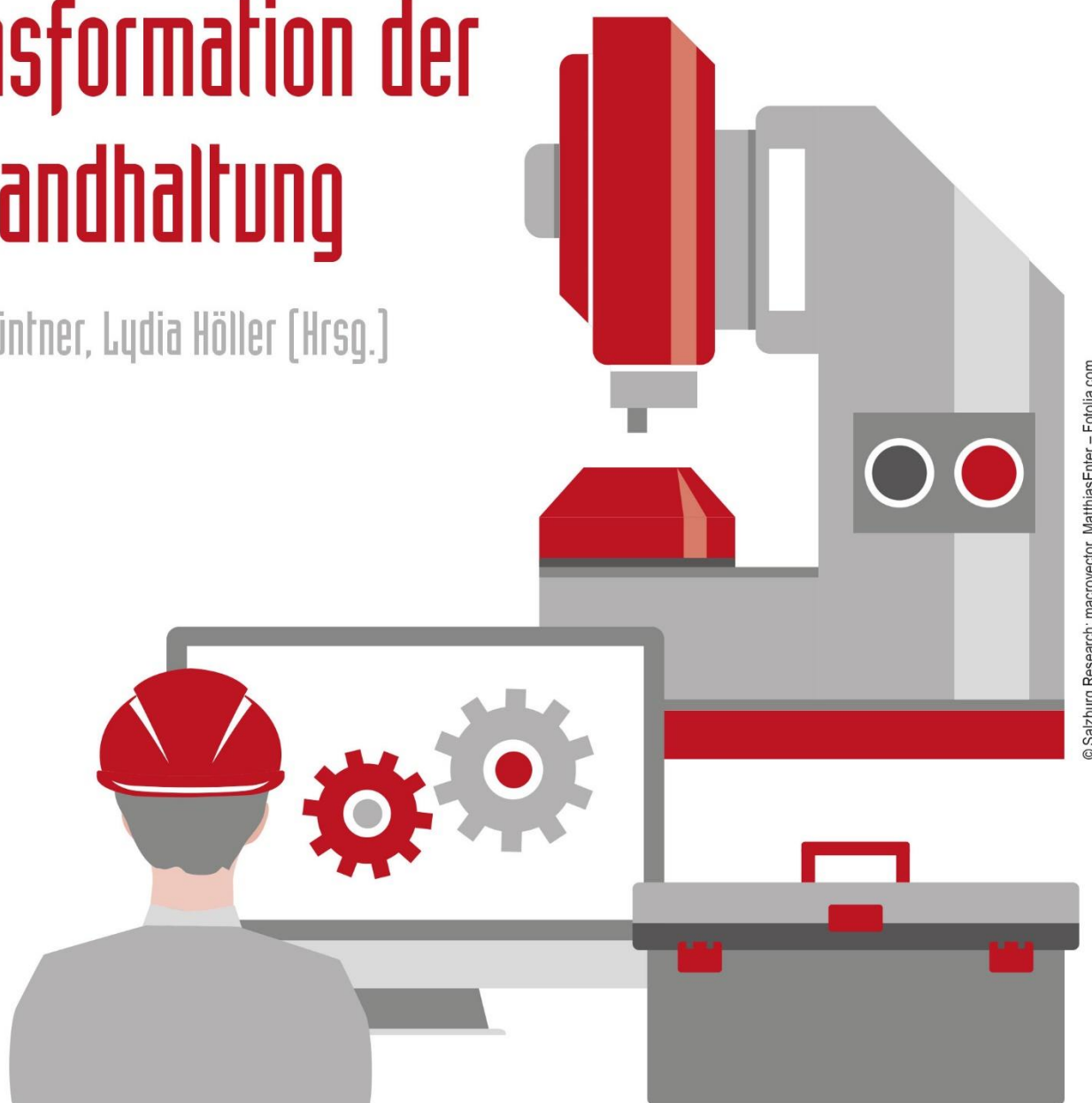


WHITE PAPER

# Die digitale Transformation der Instandhaltung

Georg Güntner, Lydia Höller (Hrsg.)



© Salzburg Research; macrovector, MatthiasEnter – Fotolia.com

[srfg.at/i-maintenance](https://srfg.at/i-maintenance)



## Inhaltsverzeichnis

<b>Der Werkzeugkoffer für die digitale Transformation.....</b>	<b>5</b>
<b>1 Fit für Instandhaltung 4.0?.....</b>	<b>7</b>
1.1 Wohin geht die Reise? .....	7
1.2 Schritt für Schritt zur Instandhaltung 4.0 .....	8
<b>2 * Asset Management am Prüfstand .....</b>	<b>10</b>
<b>3 Digitalisierung ohne Software? .....</b>	<b>12</b>
3.1 Wohin man sieht: Daten. Daten. Daten.....	12
3.2 IT-Unterstützung als Grundlage für Exzellenz.....	12
<b>4 * Software-gestützte Instandhaltung beim Logistik-Profi .....</b>	<b>15</b>
<b>5 Strategisches Condition Monitoring .....</b>	<b>17</b>
5.1 Auswahlverfahren für Condition Monitoring .....	17
5.2 Detaillierung auf Komponenten-Ebene .....	17
<b>6 Predictive Maintenance.....</b>	<b>19</b>
6.1 Daten im Zentrum: zukünftige Anlagenzustände voraussagen .....	19
6.2 Predictive Maintenance: Wie es in der Praxis funktioniert.....	19
<b>7 * Vorausschauende Instandhaltung auf Schiene .....</b>	<b>21</b>
<b>8 ‚Panta rhei‘ in der Instandhaltung .....</b>	<b>23</b>
8.1 Datenflüsse in der Instandhaltung .....	23
8.2 Kommunikation über Datenströme .....	23
<b>9 * Datensilos integrieren.....</b>	<b>25</b>
<b>10 Digital Twins .....</b>	<b>28</b>
10.1 Die Rolle von Digital Twins in der Instandhaltung .....	28
10.2 Der Nutzen von Digital Twins für die Instandhaltung.....	29
<b>11 Haben Ihre Anlagen schon eine IP-Adresse? .....</b>	<b>32</b>
11.1 Instandhaltung im Internet der Dinge .....	32
11.2 Die Potenziale des IoT für die Instandhaltung.....	33
11.3 Anwendungsszenarien .....	34
<b>12 * Smart Inspection: Technologie intelligent kombiniert.....</b>	<b>36</b>
<b>13 Welche Kompetenzen braucht Instandhaltung 4.0? .....</b>	<b>39</b>
<b>14 Strategisches Vorgehen als Erfolgsfaktor .....</b>	<b>41</b>
14.1 Nutzen und Notwendigkeit strategisch ausgerichteter Technik-Bereiche .....	41
14.2 Eine einmalige Chance für produzierende Unternehmen.....	42
<b>Anhang A: Referenzen .....</b>	<b>43</b>
<b>Anhang B: Netzwerke für Digitalisierung .....</b>	<b>46</b>
<b>Anhang C: Projektfakten.....</b>	<b>47</b>
<b>Anhang D: Autorinnen &amp; Autoren .....</b>	<b>48</b>
<b>Impressum .....</b>	<b>50</b>



## Der Werkzeugkoffer für die digitale Transformation

Georg Güntner (Salzburg Research), Lydia Höller (dankl+partner consulting gmbh)

Die zunehmende **Digitalisierung und Vernetzung industrieller Prozesse** (Stichwort Industrie 4.0) wirkt sich auf die Strategien und Methoden des Instandhaltungs- und Asset Managements massiv aus: Nach Einschätzung von Expertinnen und Experten werden Produktion, Instandhaltung und Anlagenbau durch die Nutzung gemeinsamer und integrierter Datenbestände in Zukunft noch näher zusammenrücken. Zustandsorientierte und vorausschauende Instandhaltungsstrategien werden gegenüber reaktiven und präventiven Ansätzen an Bedeutung gewinnen. Der Einsatz kostengünstiger Sensoren, von IoT- und Cloud-Technologien schafft in Verbindung mit Softwaresystemen zur Visualisierung und Prognose neue Geschäftsmodelle für das betriebliche Asset Management. Neue Wertschöpfungsketten bergen disruptives Potenzial für die traditionellen Beziehungen zwischen Anlagenherstellern, -betreibern und Instandhaltern.

### Die digitale Transformation der Instandhaltung hat längst begonnen

Sie umfasst die Bereiche Mensch, Technik und Organisation gleichermaßen. Die sich entwickelnden cyber-physischen Systeme steigern die Komplexität der Anlagen und ihrer (Instandhaltungs-)Prozesse. Vernetzung und Digitalisierung erfordern zusätzliche Kompetenzen von InstandhalterInnen. Und gegenwärtig halten die organisatorischen Voraussetzungen bei der Einführung und Nutzung neuer Technologien mit den durch die zunehmende Digitalisierung entstehenden Herausforderungen nicht Schritt.

Die Forderung nach einer Reduktion der Stillstandzeiten, nach einer Steigerung geplanter Instandhaltungsaktivitäten und damit verbunden einer gesteigerten Anlagenverfügbarkeit bei gleichzeitig hohem Kostendruck und oft fehlendem Technik-Personal erfordert **innovative methodische und technologische Ansätze** zur Bewältigung der Herausforderungen der **digitalen Transformation der Instandhaltung**. Dabei ist Digitalisierung nie Selbstzweck. Innovationen sind nur in Abstimmung mit der digitalen Unternehmens- bzw. Abteilungsstrategie sinnvoll.

### Im Spannungsfeld von Organisation, Technik und Mensch

In dem im November 2016 gestarteten Forschungs- und Innovationsprojekt **i-Maintenance** wurden die genannten Herausforderungen der digitalen Transformation der Instandhaltung aufgegriffen: Das Projekt zeichnet sich durch eine interdisziplinäre Verknüpfung von konzeptionell-methodischen, technologischen und didaktischen Elementen aus. Es propagiert einen in dieser Form einzigartigen durchgängigen Ansatz:

vom	über	und	bis
strategischen Asset- und Instandhaltungs-Management (Strategieentwicklung, Bewertungsmodelle, Potentialanalysen und daraus abgeleitete Umsetzungsmaßnahmen)	die Entwicklung eines methoden-gestützten Bewertungsmodells für den Einsatz datenzentrierter Instandhaltungsstrategien zur Erfassung, Analyse und Prognose instandhaltungsrelevanter Information	die Entwicklung eines Toolsets zur prototypischen technischen Integration von Software-Systemen für Condition-Monitoring, Predictive Analysis und IoT-Frameworks	zur Integration mit den Funktionalitäten moderner Instandhaltungssysteme (CMMS) sowie IT-Systeme der Produktionsbereiche (MES, SCADA) und der Betriebsplanung und -Steuerung (ERP).



Das White Paper skizziert ausgewählte Inhalte des Werkzeugkoffers für die digitale Transformation und bereitet sie für die Praxis auf: In 14 Beiträgen bieten wir einen Überblick über methodische Vorgangsweisen und eine System zur Bewertung des Reifegrades der Instandhaltung (Excellence Radar), beschreiben technische Lösungsansätze (z.B. Instandhaltungssoftware, Condition Monitoring, Predictive Maintenance, Messaging-Systeme, Digital Twins, Technologien des Internets der Dinge, Drohnen) und empfehlen eine strategische Vorgehensweise zum digitalen Asset Management. Anhand von konkreten Anwendungsbeispielen wird gezeigt, wo Digitalisierung keine leere Worthülse, sondern gelebte Realität ist und worin der Mehrwert liegt. Anwendungsberichte sind in der Überschrift mit dem Symbol eines Zahnrads gekennzeichnet (⚙)

Das Forschungsprojekt i-Maintenance hat einmal mehr gezeigt, dass diejenigen von neuen Technologien profitieren, die rasch und neugierig, aber auch mit der notwendigen Strategie und Zielfokussierung in die Umsetzung gehen. Michael Pendeder, Experte für Innovation und Strukturwandel am Wirtschaftsforschungsinstitut in Wien, drängt zur bedachten Umsetzung: „Auswirkungen von Technologie werden gerne kurzfristig überschätzt, aber langfristig unterschätzt“. Nutzenüberlegungen im Sinne der Unternehmens-Strategie sollten also jedenfalls zu Beginn jeder Initiative stehen: Starten Sie mit einer Digitalisierungs-, Instandhaltungs- und Asset Management- oder Datenstrategie, die die digitale Transformation Ihrer Organisation anleitet und vorantreibt.

Salzburg, im Oktober 2018

# 1 Fit für Instandhaltung 4.0?

## Ein Bewertungstool für exzellente Instandhaltung und Asset Management

Andreas Dankl, Harald Klimes (dankl+partner consulting gmbh)

*Ist Ihre Organisation fit für Instandhaltung 4.0? Der im Forschungsprojekte i-Maintenance entwickelte virtuelle Werkzeugkoffer beinhaltet ein Bewertungstool, das Auskunft darüber gibt, an welchem Punkt einzelne Technik-Organisationen stehen und mit welchen Schritten sie effizient Richtung Exzellenz marschieren können. Die Forderungen nach hoher Anlagenverfügbarkeit, geringen Stillstands- und Ausfallzeiten, kombiniert mit hohem Kostendruck beschleunigen dabei die digitale Transformation in produzierenden Unternehmen.*

### 1.1 Wohin geht die Reise?

Die digitale Transformation verändert alle Unternehmensbereiche und bewirkt auch im Instandhaltungs- und Asset Management einen Paradigmenwechsel (siehe Abbildung 1). Entscheidungen werden in Zukunft sehr viel stärker daten- und faktenbasiert erfolgen. Umfassende Änderungen bei Prozessen und Strukturen, bei angewendeten Methoden und Techniken und besonders beim Personal- und Wissensmanagement sind unabdingbar (Details siehe „Roadmap Instandhaltung 4.0“, [Guen2015c]).

„Traditionelles“ IH-Management	„Modernes“ IH-Management
1. Verteidigung bzw. Rechtfertigung der IH-Kosten	1. Zukunftsgerichtete Begründung von IH-Kosten und Wirtschaftlichkeit
2. Erfüllungsorgan der Produktion	2. Strategisch positionierter interner Dienstleister
3. Fokussiert auf Technik	3. Gesamtheitliches Anlagen- und Leistungsmanagement
4. Ausgerichtet auf operative Problemlösungen	4. Ausgerichtet auf taktisch-strategische Problemvermeidung
5. Tagesgeschäft dominiert Entscheidungen	5. Langfristig ausgerichtete daten- und fakten-basierende Entscheidungen
6. Individuelle, unvollständige Aufzeichnungen	6. Lückenlose, vollständige Nachweis- und Dokumentationspflichten
7. Personalentscheidungen basieren auf Kostenvorgaben und aktuellen Daten	7. Systematische Personalentwicklung erfolgt auf Basis strategischer Kernkompetenzen

**Abbildung 1: Paradigmenwechsel im IH-Management**  
(Quelle: „Roadmap der Instandhaltung 4.0“)

Die technischen Anwendungen sind i.d.R. nicht neu, aber in ihrer Funktionalität und Variabilität sowie in ihrem Marktangebot sehr vielfältiger, praktikabler und kostengünstiger als noch vor wenigen Jahren (beispielsweise sind die Kosten der Sensoren durch Einsatz von IoT-Technologien und Mikroprozessoren in den letzten Jahren deutlich gesunken).

Die Recherchen im Rahmen des Projektes i-Maintenance zu praxisrelevanten I4.0-Anwendungen zeigen, dass eine hohe Intransparenz bezüglich Angebot, Möglichkeiten und vor allem auch Praxisnutzen der Anwendungen besteht. Vielfach wird unterschätzt, dass I4.0-Anwendungen neben technologischen Aspekten auch Organisations- und Managementthemen betreffen.

## 1.2 Schritt für Schritt zur Instandhaltung 4.0

Die „neuen“ I4.0-Anwendungen dürfen nicht isoliert betrachtet werden, sondern sind in die bekannten Gestaltungselemente des Instandhaltungs- und Asset Managements zu integrieren sind. Abbildung 2 zeigt am Beispiel der Instandhaltung auf, welche Bereiche besonders intensiv von den I4.0-Anwendungen beeinflusst werden.

INSTANDHALTUNG [IH]		
① IH-Ziele, IH-Aufgaben & IH-Management-Strategie	② Anlagenbezogene IH-Strategien	③ Aufbauorganisation in der Instandhaltung
④ Instandhaltungs-Prozesse	⑤ IH-Personal & Wissensmanagement	⑥ IT-gestützte Instandhaltung
⑦ IH-Auftragsplanung & Arbeitssteuerung	⑧ Materialwirtschaft in der Instandhaltung	⑨ Fremdleistungs- & Lieferanten-Management
⑩ Abstellungen / Revisionen von Anlagen	⑪ Betriebsmittel-Management	⑫ IH-Controlling, IH-Benchmarking & IH-Marketing
⑬ Optimierungsmethoden & Optimierungs-Tools	⑭ Einsatz von Mobilgeräten & Assistenzsystemen in der IH	⑮ IH-relevantes QSGU-Management

Geringer Einfluss von Entwicklungen aus "Industrie 4.0 / Digitalisierung"

Grosser Einfluss von Entwicklungen aus "Industrie 4.0 / Digitalisierung"

**Abbildung 2: Optimierungsbausteine für die Instandhaltung.**  
(Quelle: dankl+partner consulting gmbh)

Im Forschungsprojekt wurde anhand dieser Erkenntnisse eine **Bewertungssystematik (Reifegradmodell)** erarbeitet, die eine zielgerichtete Optimierung in Richtung modernes Instandhaltungs- und Asset Management ermöglicht. Dabei wird eine Bestandsaufnahme der gegenwärtigen Situation des Instandhaltungs- und Asset Managements vorgenommen, die wesentlichen Optimierungsansätze werden identifiziert die daraus resultierenden Verbesserungspotenziale werden bewertet. Soweit nicht neu, in Kombination mit den aktuell eingearbeiteten I4.0-Einflüssen aber der perfekte Kompass für produzierende Unternehmen am Weg zu modernen Technik-Prozessen.

**Folgende Schritte durchlaufen Unternehmen im Reifegradmodell:**

Vorgehensschritte	Erläuterungen
<b>1) Festlegung der Optimierungsziele</b>	Wesentliche Ziele für Asset Management und Instandhaltung (z.B. Steigerung der Anlagenverfügbarkeit, Senkung der IH-Kosten, Rechtskonforme Dokumentation, durchgängige Prozesse)
<b>2) Auswahl der Bewertungsthemen</b>	Einschränkung auf die relevanten Gestaltungselemente für das Instandhaltungs- und Asset Management entsprechend den definierten Zielen (z.B. Materialwirtschaft, IT-Unterstützung, Aufbauorganisation, Personal- & Wissensmanagement); siehe Abbildung 2
<b>3) Bestandsaufnahme der IST-Situation</b>	Beurteilung der aktuellen Situation (IST-Zustand) für die relevanten Gestaltungselemente auf Basis von Bewertungskriterien; für das Instandhaltungs- und Asset Management wurden ca. 300 Kriterien formuliert; damit kann ein aussagekräftiges Stärken-Schwächen-Profil abgeleitet werden



<b>4) Priorisierung der Optimierungsansätze</b>	Identifikation der wesentlichen Optimierungsansätze (Werttreiber); Grundlage für die Priorisierung der Optimierungsansätze sind die definierten Optimierungsziele und die IST- und ZIEL-Werte für die einzelnen Bewertungskriterien
<b>5) Umsetzungsmaßnahmen ableiten</b>	Über die Optimierungsansätze können die konkreten Verbesserungsmaßnahmen abgeleitet werden; diese werden in einem Aktionsplan anhand sachlogischer Verknüpfungen dargestellt
<b>6) Potenzialbewertung</b>	Entsprechend den abgeleiteten Verbesserungsmaßnahmen werden die damit verbundenen Einsparungspotenziale durch einen Berechnungsmodell (Basis sind Erfahrungswerte aus Optimierungsprojekten) ermittelt

Das beschriebene Reifegradmodell wurde in vereinfachter Form als frei verfügbares, kostenfreies Web-Tool abgebildet. Mit dem sogenannten Excellence Radar Instandhaltung kann die Leistungsfähigkeit der Instandhaltungsorganisation und des Asset Managements analysiert, Verbesserungsmöglichkeiten identifiziert und entsprechende Optimierungspotenziale ermittelt werden.



Kostenfreies Webtool Excellence Radar  
Instandhaltung: [www.excellence-radar.com](http://www.excellence-radar.com)

## 2 Asset Management am Prüfstand

### Ein Anwendungsbericht über die Reifegradbewertung bei Österreichs größtem Energiedienstleister

**Arno Sam (Wien Energie GmbH)**

*Die Bewertung des Reifegrads der betrieblichen Assets ermöglicht, wie im vorangehenden Abschnitt gezeigt, nicht nur eine Standortbestimmung gegenüber Unternehmensvorgaben und einen Branchenvergleich, sondern sie bietet zugleich die Chance für die Ableitung konkreter Handlungsempfehlungen. Digitalisierungsvorhaben nehmen dabei oft eine zentrale Stelle ein. Der folgende Anwendungsbericht zeigt, zu welchen Ergebnissen die Wien Energie im Rahmen der Reifegradbewertung kam.*

#### Ausgangssituation

Die Wien Energie GmbH ([www.wienenergie.at](http://www.wienenergie.at)) ist Österreichs größter Energiedienstleister. Das Unternehmen versorgt mehr als zwei Millionen Menschen, rund 230.000 Gewerbeanlagen, industrielle Anlagen und öffentliche Gebäude sowie rund 4.500 landwirtschaftliche Betriebe in Wien, Niederösterreich und Burgenland mit Strom, Erdgas und Wärme. Die Strom- und Wärmeproduktion stammt aus Abfallverwertung, Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen und aus erneuerbarer Energie wie Wind-, Wasser- und Sonnenkraft sowie Biomasse.

Im Rahmen des Forschungsprojekts i-Maintenance führte die Wien Energie mittels eines im Projekt entwickelten Bewertungstools eine Reifegradbewertung des betrieblichen Asset Managements und Instandhaltungsmanagements durch. Dafür wurde eine strategisch wichtige Anlage, der Wirbelschichtofen 4 am Standort Sondermüllverbrennungsanlage Simmeringer Haide, selektiert. Diese Anlage hat einen hohen Komplexitätsfaktor, da es sich hier um eine Kombi-Wirbelschicht zur Hausmüll- und Klärschlammverwertung handelt.



**Abbildung 3: SMVA Simmeringer Haide, Wirbelschichtofen 4 (im Vordergrund)**

## Ziel

Basierend auf den Ergebnissen der Bewertung sollen wesentliche Optimierungsansätze und Verbesserungspotentiale in den genannten Bereichen identifiziert werden. Ziel der Anwendung des Reifegradmodells ist damit folgend die Ableitung eines Projektplans von Maßnahmen zur Behebung der identifizierten Optimierungsansätze und Verbesserungspotentiale.

## Lösung

Auf Basis einer praxisbewährten Zieldarstellung wurden drei Hauptziele festgelegt:

- Reduzierung der Ausfallskosten
- Verbesserung der technischen Werterhaltung der Anlagen(-Komponenten)
- Optimierung der Anlagenkosten über den gesamten Lebenszyklus

Abhängig von diesen Zielen wurden im Rahmen des Durchlaufs zehn Bewertungsthemen aus den Bereichen Asset Management und Instandhaltung (siehe dazu Beitrag „Strategisches Vorgehen als Erfolgsfaktor“ auf Seite 41) ausgewählt, welche anhand von Kriterien mittels einer 5-teiligen Skala bewertet wurden. Bei Wien Energie ausgewählte Bewertungsthemen:

### Asset Management

- Asset Management-Strategie & strategische Anlagenentwicklung
- Risikoanalyse für Anlagen & Prozesse
- Digitale Vernetzung von Anlagen/-teilen
- Verknüpfung von Produktions-, Anlagen- & IH-Daten

### Instandhaltung

- Anlagenbezogene IH-Strategien
- IT-gestützte Instandhaltung
- IH-Auftragsplanung & Arbeitssteuerung
- Abstellungen / Revisionen von Anlagen
- IH-Controlling, IH-Benchmarking & IH-Marketing
- Einsatz von Mobilgeräten & Assistenzsystemen in der IH

## Nutzen

Das Bewertungstool ermöglicht durch die Identifikation von Stärken und Verbesserungsmöglichkeiten eine Bestimmung des „Reifegrads“ der Instandhaltung. So zeigten sich konkrete Optimierungsansätze im Bereich der Verknüpfung von Prozess-, Anlagen- & IH-Daten und im Einsatz von mobilen Assistenzsystemen. Anhand dieser Erkenntnisse konnten bereits erste konkrete Umsetzungsmaßnahmen zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit im Asset Management und in der Instandhaltung abgeleitet werden.

Die Stärken der Instandhaltung bei der Wien Energie liegen in den Bereichen Auftragsplanung und IT gestütztem Instandhaltungs-Planungs-System (IPSA). Das Ergebnis ist ein interessanter Benchmark mit anderen Firmen, das Wesentliche ist jedoch die Möglichkeit zur Erkennung der richtigen Werttreiber für die Erfüllung der definierten Ziele.

Beteiligte Partner	Aufgabe im Projekt	Domain/Kontakt
Wien Energie	Anwender, Energiedienstleister	<a href="http://www.wienenergie.at">www.wienenergie.at</a>
dankl+partner consulting	Durchführung Bewertungstool Reifegradmodell	<a href="http://www.mcp-dankl.com">www.mcp-dankl.com</a>

### 3 Digitalisierung ohne Software?

#### Warum exzellente Instandhaltung professionelle Software benötigt

Andreas Dankl, Harald Klimes (dankl+partner consulting gmbh)

*Entscheidungen - auch jene in der Instandhaltung - werden in Zukunft stärker daten- und faktenbasiert erfolgen. Exzellente Instandhaltung und nachhaltiges Asset Management sind ohne IT-Unterstützung in Zukunft nicht denkbar. IPSA-Software (bzw. CMMS) und aufeinander abgestimmte Prozesse bilden wichtige Zutaten erfolgreicher datenzentrierter Instandhaltung.*

#### 3.1 Wohin man sieht: Daten. Daten. Daten.

Basis für Entscheidungen sind Daten, die durch professionelle Systeme an den richtigen Stellen erhoben, sicher gespeichert, übermittelt und verarbeitet werden. Diese entspringen der Anlagensensorik, der Produktionsplanung, der Vertriebsdatenbank, Inspektionen, IPSA-Systemen, Dokumentenmanagement-Systemen und vielen anderen Quellen. Die so gewonnenen Daten werden im Sinne der Abteilungs- bzw. Unternehmensziele verarbeitet und als Basis für fundierte Entscheidungen herangezogen.

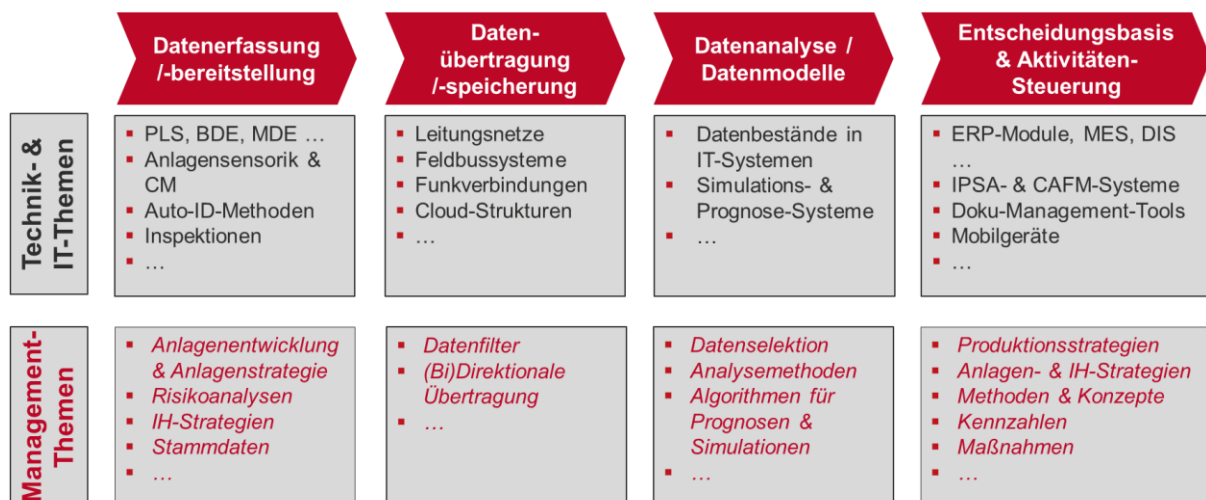


Abbildung 4: Durchgängiges I4.0-Konzept zur Erzielung von Nutzen  
(© dankl+partner consulting gmbh)

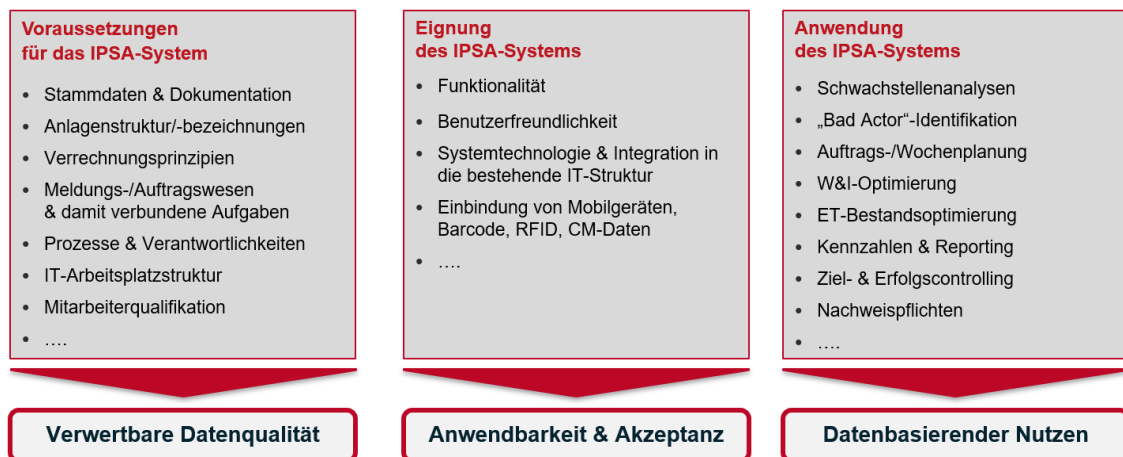
Wesentlich ist ein durchgängiges Konzept von der Datenerfassung über die Datenübertragung und -speicherung hin zur Analyse bzw. Modellierung. In Schritt vier dienen die verdichteten Daten schließlich der Entscheidungsfindung und Aktivitäten-Steuerung (siehe Abbildung 4). Diese Kaskade ist sowohl für Entscheidungen im Technik-Bereich als auch im Management-Bereich sinnvoll.

#### 3.2 IT-Unterstützung als Grundlage für Exzellenz

Technische Entscheider müssen wissen, **wer** (z.B. Fremdfirma/Eigenleistung), **macht was** (Leistungsarten), **wofür** (Leistungsobjekte), **wie viel** (z.B. Stundenumfang) – und **wie gut** (Effizienz und Leistungsqualität).

Nur so können Sie die **grundlegende Frage** beantworten: „Machen die Richtigen (Organisationseinheit, Fremdfirmen) das Erforderliche (Anlagencharakteristik, Leistungsarten) in geeigneter Weise (Prozesse, Struktur, Dokumentation)?“

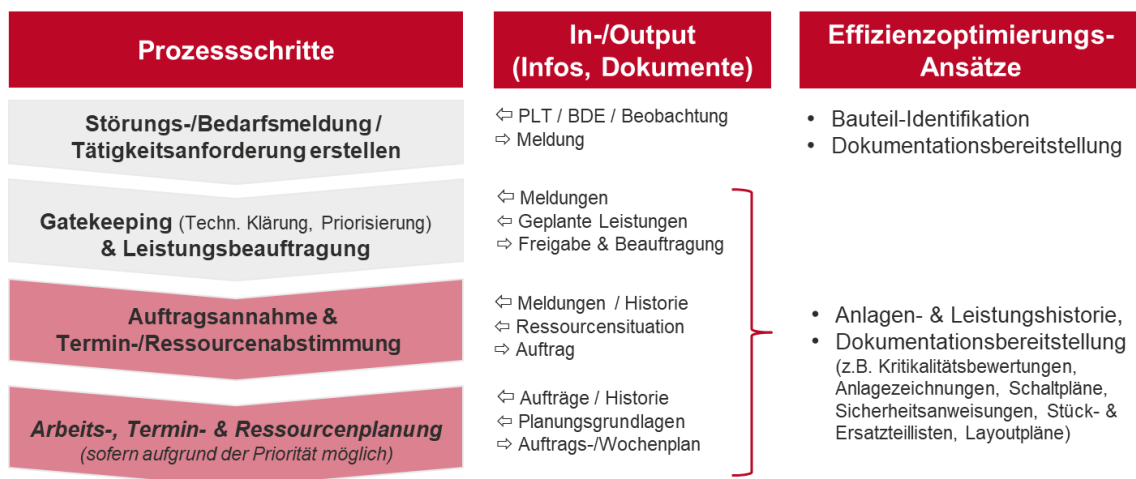
Diese Kaskade ist nur mit bei entsprechender Datenlage zu bewerkstelligen. Gibt es dafür die perfekte Software? Das perfekte IT-System? Jedes System ist so gut – oder so mangelhaft – wie seine Anwendung. Es löst keine Organisationsmängel, vielmehr werden diese dadurch transparent. Darum ist die bloße Anwesenheit eines **IPSA-Systems** (Instandhaltungs-, Planungs-, Steuerungs-, Analyse-Software) bzw. **CMMS** (Computerised Maintenance Management System) kein Garant für professionelle, datenbasierte Entscheidungen. Drei Faktoren spielen bei der Planung und Auswahl eine zentrale Rolle (vgl. Abbildung 5):



Hinweis: IPSA = Instandhaltungs-Software (auch CMMS oder IPS)

**Abbildung 5: Elemente zur „optimalen“ Anwendung einer Instandhaltungs-Software**  
(© dankl+partner consulting gmbh)

Wichtige Grundsteine bilden dokumentierte und aktuelle Unternehmensprozesse, welche in den Software Tools abgebildet und von den Anwendern im Alltag „gelebt“ werden. Wie das aussehen kann, zeigt Abbildung 6 anhand eines Beispiels aus der Papierindustrie: Prozessschritte, Daten und Systeme sind aufeinander abgestimmt.



Hinweis: Optimierungsprojekt Papierindustrie

**Abbildung 6: Effiziente IH-Prozesse durch Integration von IH-Software**



Durch das Arbeiten mit Daten verändern sich oft auch Prozesse (z.B. eine Checkliste wird durch eine Online-App am Smartphone abgelöst) und es werden neue Kompetenzen in technischen Teams benötigt (z.B. Datenanalyse, -auswertung), etc. (siehe dazu Beitrag „Welche Kompetenzen braucht Instandhaltung 4.0?“ auf Seite 39).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass professionelle, moderne Instandhaltungsorganisationen ganz gezielt mit ihren Daten arbeiten können müssen. Dazu bedarf es technischer Hilfsmittel (entsprechend eingeführte Software, Sensorik, mobile Endgeräte, u.v.m.), aber auch organisatorischer Veränderungen und vor allem auch Schritte im Bereich der Qualifizierung (z.B. ein Seminar zum Thema „IT/Datenanalyse für Instandhalter“).

## 4 Software-gestützte Instandhaltung beim Logistik-Profi

### Ein Anwendungsbericht über die Einführung einer Instandhaltungs-Software bei der TGW Logistics Group

Oliver Hofbauer (H&H Systems Software GmbH)

*Computerised Maintenance Management Systems (CMMS) bieten, wie im vorangehenden Artikel gezeigt, eine breite Palette von Möglichkeiten zur Steigerung der Anlagenverfügbarkeit, zur Automatisierung des Ersatzteilmanagements und zur Reduktion der Instandhaltungs- und Lagerhaltungskosten. In unserem Anwendungsbericht zeigen wir, wie isproNG zur Steigerung der Kundenzufriedenheit bei der TGW Logistics Group im Bereich des Instandhaltungsmanagements eingesetzt wird.*

#### Ausgangssituation

Die TGW Logistics Group ([www.tgw-group.com](http://www.tgw-group.com)) ist ein führender Systemanbieter von hochdynamischen, automatisierten und schlüsselfertigen Logistiklösungen - weltweit. Seit 1969 realisiert das Unternehmen unterschiedlichste innerbetriebliche Logistiklösungen, von kleinen Fördertechnik-Anwendungen bis zu komplexen Logistikzentren. Die TGW-Gruppe ist ein Unternehmen in Stiftungseigentum und beschäftigt aktuell rund 2.800 Mitarbeiter quer über den Globus.

Die TGW stellt ihren Kunden eine im Haus entwickelte Software Suite zur Verfügung, die zwar Steuerungs- und Visualisierungssysteme, jedoch kaum Funktionen eines professionellen Instandhaltungsmanagementsystems beinhaltet. Speziell bei Anlagen mit TGW On-site Service stießen die Techniker sehr schnell an die Grenzen der bestehenden Software. Im Bereich der Unterstützung und Optimierung von Instandhaltungsaufgaben entschied man sich gegen eine Eigenentwicklung und sondierte den Markt nach geeigneten CMMS-Systemen.



Abbildung 7: TGW Mobile Lösung (© TGW Logistics Group)

## Lösung

In Abstimmung mit den Kunden der TGW wurden folgende Ziele für den Einsatz eines CMMS für die Logistiklösungen definiert:

- Steigerung der Anlagenverfügbarkeit
- Reduktion der Instandhaltungs- und Lagerhaltungskosten, Definition von Mindestlagerständen und Automatisierung der Beschaffung
- Automatisierung des Ersatzteilmanagements
- Erhöhung der Wirtschaftlichkeit
- Optimierung der Störungsabwicklung inklusive Schwachstellenanalyse
- Erhöhung des Planungsgrades
- Einführung einer Einsatzplanung und der Arbeitsvorbereitung für die Instandhaltung
- Einführung von Usage-based und Condition-based Maintenance sowie Predictive Maintenance

## Nutzen

Schon ein Jahr nach Einführung des CMMS wurden merkliche Einsparungen im Bereich der Beschaffung und der Instandhaltung identifiziert. Automatisierungen im Auftragswesen und der Störungserfassung haben den manuellen Aufwand und die Fehleranfälligkeit nachhaltig reduziert und dadurch die Anlagenverfügbarkeit gesteigert. Die hohe Akzeptanz der Mitarbeiter und der geringe Aufwand bei der Erfassung und beim Import der Stammdaten haben die Implementierung des gewählten CMMS-Systems isproNG beschleunigt und nur wenige Personalressourcen des Kunden gebunden.

## Zahlen – Daten – Fakten

Der Einsatz des CMMS erfolgte in einem Logistikzentrum mit:

- 20 km Förderlogistik
- 20 Regalbediengeräte mit jeweils
- 25 Sensoren pro Gerät
- 75 Sensorwerte pro Tag für prädiktive Instandhaltung

Beteiligte Partner	Aufgabe im Projekt	Domain/Kontakt
H&H Systems Software GmbH	Bereitstellung CMMS System und Implementierung (isproNG)	<a href="http://www.ispro-ng.at">www.ispro-ng.at</a>
TGW Logistics Group	Anwender, Systemanbieter Intralogistiklösungen	<a href="http://www.tgw-group.com">www.tgw-group.com</a>



## 5 Strategisches Condition Monitoring

### Eine datenzentrierte Methode zur Auswahl technischer Verfahren für die zustandsorientierte Instandhaltung

Jutta Isopp (Messfeld GmbH)

*Im Kontext der industriellen Digitalisierung werden zustandsorientierten Instandhaltungsstrategien eine hohe Bedeutung beigemessen. Condition Monitoring, also die Überwachung industrieller Anlagen, erhält durch intelligente Sensorik, durch die Verringerung der Kosten für Speicherung von großen Datenmengen und durch moderne Visualisierungs- und Analyseverfahren für Zeitreihendaten einen steigenden Stellenwert. Doch wie können Unternehmen feststellen, welche Verfahren an welchen Komponenten wirtschaftlich einzusetzen sind? Welche Daten sollen in welcher Qualität und Quantität erhoben werden? Wie sieht der zu erwartende Nutzen aus? Diese Fragen beantwortet das Verfahren des „strategischen Condition Monitoring“, das wir nachfolgend vorstellen.*

#### 5.1 Auswahlverfahren für Condition Monitoring

Vor dem Einsatz von Condition Monitoring Verfahren sind jene kritischen Anlagen aus der Gesamtheit aller vorhandenen Anlagen auszuwählen, bei denen ohne Überwachung ein hohes technisches, wirtschaftliches oder qualitatives Risiko besteht. Abbildung 8 gibt einen Überblick über die dazu vorgeschlagene Vorgangsweise: Zunächst werden auf der Ebene des betrieblichen Instandhaltungs- bzw. Asset Managements die „kritischen“ Anlagen

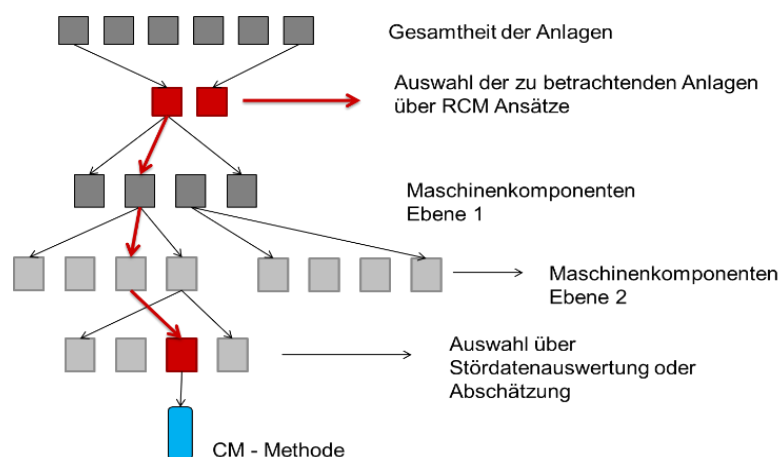


Abbildung 8: Auswahl auf Equipment-/ Komponenten-Ebene

ausgewählt (z.B. mittels RCM-Ansätzen) (siehe dazu Beitrag „Strategisches Vorgehen als Erfolgsfaktor“ auf Seite 41). Bereits an dieser Stelle gilt: je stärker sich eine Entscheidung auf Daten stützt, desto objektiver kann sie getroffen werden. Die Entscheidung beinhaltet auch die Wahl einer geeigneten Instandhaltungsstrategie. Als Grundlage der Entscheidung können – soweit vorhanden – sowohl aktuelle als auch historische Maschinen- und Maschinen-Metadaten herangezogen werden.

#### 5.2 Detaillierung auf Komponenten-Ebene

Zur Ermittlung der geeigneten Instandhaltungsstrategie und der technischen Verfahren für die zustandsorientierte Instandhaltung auf Komponentenebene ist eine weitere Detaillierung erforderlich. Eine strukturierte Vorgangsweise dazu wird in Abbildung 9 dargestellt.

## Bewertung der aktuellen Situation

Zur Bewertung der aktuellen Situation ist zunächst zu klären, ob die Anlage bereits erfolgreich gewartet und instandgehalten wird. Abhängig davon gilt der erste Blick der aktuellen Situation bzw. der Betrachtung der historischen Daten:

- Die Analyse von Störungsdaten gibt Aufschluss über aktuelle Problemstellungen.
- Der Check der einzelnen Datenpools gibt Aufschluss darüber, welche Daten in welcher Qualität und Quantität vorhanden sind. Eine Datenflussanalyse ist hier hilfreich.

Als Basis für die Auswahl können dann Störungsmeldungen und/ oder Aufzeichnungen über die Ausfallszeiten und Ausfallsgründe herangezogen werden. Ist die Datenqualität gut, kann auf dieser Basis weitergearbeitet werden. Ist die Datenbasis (Datenqualität/ Quantität) unzureichend, so müssen Struktur und Problemstellungen abgeschätzt werden.

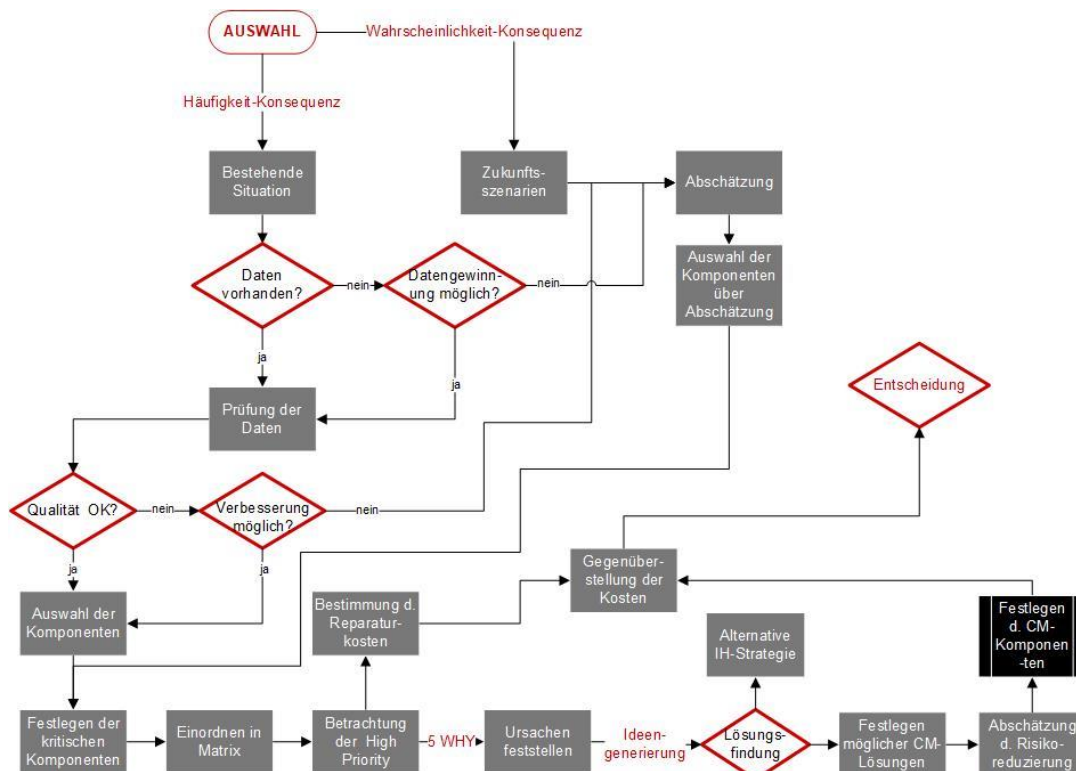


Abbildung 9: Vorgehensweise strategisches CM (© Messfeld GmbH)

## Auswahl der Komponenten

Die Strukturierung der Komponenten, d.h. die Zerlegung der Anlage in Einzelkomponenten, erfolgt in Abhängigkeit der Verfügbarkeit der Daten: Insbesondere, wenn die Datenqualität nicht ausreichend ist, müssen Annahmen getroffen werden. Auch dazu schlägt die Methode des strategischen Condition Monitoring eine strukturierte Vorgangsweise vor (siehe Abbildung 9): Die Bewertung der Häufigkeit bzw. der Konsequenzen von Ausfällen erfolgt über Abschätzung und ist damit individuell und nicht datenbasierend, was eine Einschränkung der Entscheidungssicherheit nach sich zieht.

Zusammenfassend ergibt sich durch die Auswertung der Daten bzw. aufgrund der Abschätzung eine Priorisierung jener Anlagenkomponenten, die für die Auswahl von Condition Monitoring im Detail betrachtet werden. Jede einzelne Ursachenebene bietet entsprechende Handlungsmöglichkeiten: Hier zeigt sich, welche Parameter zu ermitteln und welche Werte zu messen sind. Daraus wird die aus technischer Sicht geeignete Condition Monitoring Methode abgeleitet.

## 6 Predictive Maintenance

### Königsdisziplin der Instandhaltung?

**Philip Vodopiutz (IPN Intelligent Predictive Networks GmbH)**

*Big-Data und Predictive Maintenance (PdM) sind häufig gehörte Schlagwörter, wenn es um die Themen Digitalisierung und Industrie 4.0 geht. Glaubt man einschlägigen Artikeln, dann ist Predictive Maintenance gelebte Praxis und alle Fragen dazu sind beantwortet. Im Gegensatz dazu zeigt die Praxis, dass nur wenige Unternehmen Predictive Maintenance anwenden oder ihre Produktionsstätten „digitalisiert“ haben. Häufig fehlt das Wissen über die Möglichkeiten von Predictive Maintenance und vielfach hält sich die Meinung, vorausschauende Instandhaltung wäre zu teuer oder funktioniere nicht. Mit diesem Artikel wollen wir dem mangelnden Wissen und den Fehleinschätzungen entgegenreten.*

### 6.1 Daten im Zentrum: zukünftige Anlagenzustände voraussagen

Die zustandsorientierte und die vorausschauende Instandhaltung gelten als Shooting-Stars der Instandhaltungsstrategien: Sie treten immer stärker neben reaktive und präventive Instandhaltungsstrategien und werden in erster Linie durch die zunehmende Datenzentriertheit am Shop-Floor sowie durch neue analytische Verfahren ermöglicht.

Condition Monitoring (Zustandsüberwachung) dient zur Überwachung des momentanen Maschinenzustands (siehe dazu Beitrag „Strategisches Condition Monitoring“ auf Seite 17). Dabei werden Sensoren zur Erfassung von Messwerten und Prozesszuständen eingesetzt und ihre Messwerte auf Abweichungen von der Norm überwacht.

Im Gegensatz dazu liegt der Fokus von Predictive Maintenance auf dem zukünftigen Zustand der Anlagen. Es werden kontinuierlich alle verfügbaren Messwerte und relevanten Ereignisse (beispielsweise Störungen) der Anlage gesammelt und durch computergestützte, statistische Methoden der zukünftige Zustand bewertet.



**Abbildung 10: Der Nutzen von Predictive Maintenance**  
(© IPN Intelligent Predictive Networks GmbH)

### 6.2 Predictive Maintenance: Wie es in der Praxis funktioniert

Die Vorstellung, man müsse nur genügend Daten sammeln und eine „Künstliche Intelligenz“ gäbe dann die Antworten auf alle Fragen, hält sich beständig. In der Realität ist die Einführung von Predictive Maintenance harte Arbeit und viele Projekte scheitern schon bei der Datenerzeugung und -Sammlung.

## Datensammlung

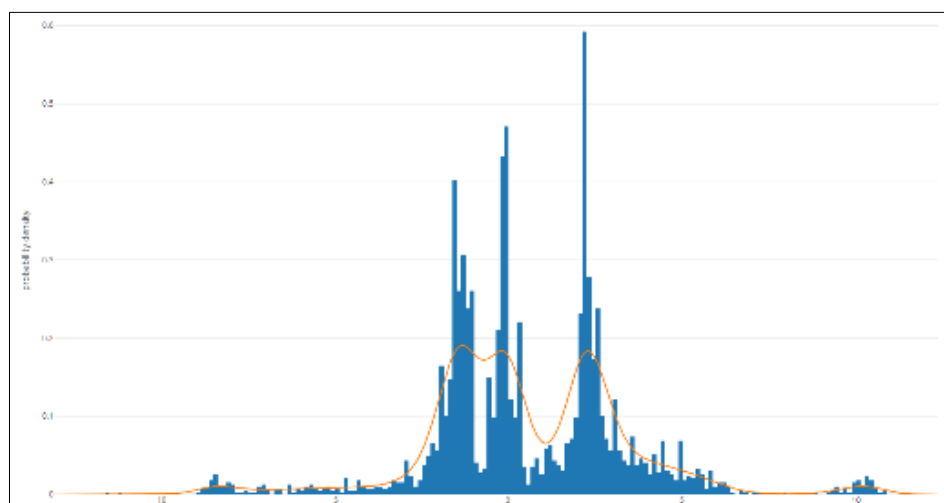
Für Predictive Maintenance gilt „Garbage in – Garbage Out“. Fehler bei der Datensammlung verursachen ein Vielfaches an Kosten bei der Verwertung. Zur Einführung von Predictive Maintenance müssen zuerst die richtigen Fragen formuliert werden, um zu definieren, welche Daten in welcher Qualität gesammelt werden sollen. Dabei wird darauf geachtet, die gesamte Anlage über die Daten abzubilden und bisher unbekannte Abhängigkeiten zu berücksichtigen.

## Prognosemodelle

Relevante Störungen an Anlagen treten selten auf, daher sind reine Machine Learning Ansätze zur Entwicklung von Prognosemodellen in der Regel ungeeignet. Prognosemodelle werden durch Datenanalysten gemeinsam mit Anlagenexperten auf Basis der gesammelten Daten und dem Fachwissen der Experten entwickelt.

## Adaptive Modelle

Predictive Maintenance basiert auf einer kontinuierlichen Datensammlung. Dadurch können sich Modelle an neue Produktionsgeschwindigkeiten, Rohstoffe oder andere Veränderungen anpassen.



**Abbildung 11: Voraussagen über den zukünftigen Anlagenzustand**  
(© IPN Intelligent Predictive Networks GmbH)

## Ergebnisse

Ziel von Predictive Maintenance ist die Prognose sowie in weiterer Folge die gezielte Planung oder Verhinderung von Anlagenausfällen. Zum Beispiel kann der Wartungsbedarf einer Kühlanlage einen Monat vor der Störung punktgenau prognostiziert werden. Oder es können Einstiegssysteme von Zügen rechtzeitig außer Betrieb genommen werden, um ein Blockieren in Offenlage in einer Station zu verhindern.

## Quick-Wins

Die Datenbasis für Predictive Maintenance erlaubt detaillierte Analysen von Zusammenhängen in den Anlagen und ermöglicht damit viele Optimierungen. Energieeffizienz kann in Abhängigkeit der Produktqualität betrachtet, Störungstreiber identifiziert und Anlagenoptimierungen zielgerichtet durchgeführt werden.

## 7 Vorausschauende Instandhaltung auf Schiene

### Ein Anwendungsbericht über den Einsatz von Predictive Maintenance bei Einstiegssystemen im Schienenverkehr

Philip Vodopiutz (IPN Intelligent Predictive Networks GmbH)

*Die Digitalisierung im Schienenverkehrsbereich bietet neue Chancen und Herausforderungen für Systemlieferanten: Indem sie ihre Produkte mit Sensoren ausstatten und diese mit den Informationen aus anderen Systemkomponenten kombinieren, lassen sich drohende Ausfälle frühzeitig vorhersagen, vorausschauende Instandhaltungsmaßnahmen einleiten und Lebenszykluskosten reduzieren.*

#### Ausgangssituation

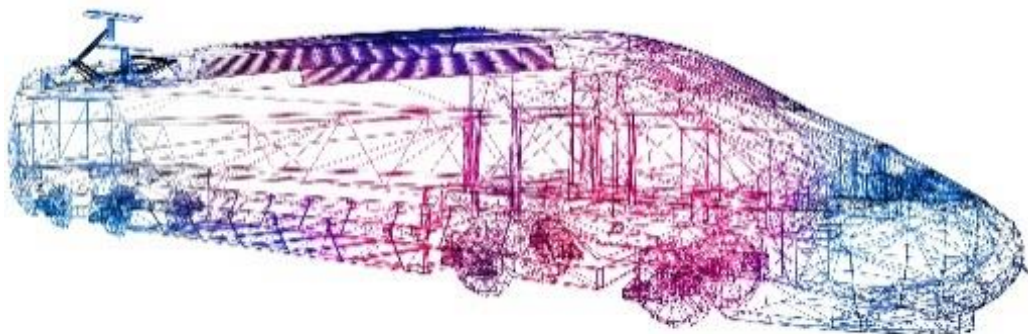
Der Schienenverkehrsbereich unterliegt einem strukturellen Wandel, welcher die Digitalisierung der Branche und der genutzten technischen Gewerke unumgänglich macht.

- Verdichtete Intervalle führen dazu, dass Verspätungen große Auswirkungen auf das Schienenverkehrssystem haben und mit hohen Pönalen belegt werden.
- Die Themen Life Cycle Costing (LCC) und Flotten Monitoring erhalten eine wesentlich höhere Bedeutung, insbesondere da die Wartung von Zugflotten an Dritte ausgelagert wird.
- Branchenfremde Wettbewerber drängen über den Bereich „Digitale Services“ in die Branche und bieten Services für Subsysteme von Dritten.

Das führt zu neuen Anforderungen an das rollende Material. So werden Zustandsindikatoren oder Rohdaten der einzelnen Subsysteme eines Reisezuges sowie garantierte Life Cycle Costs und die Möglichkeit zur Überwachung gefordert.

Für die Subsystemlieferanten bedeutet dies, dass Sie nicht nur ihre Produkte zur Datenlieferung befähigen, sondern ebenso mit der Entwicklung von Zustandsindikatoren und Prognosen beginnen müssen. Andernfalls müssten sie Rohdaten und damit IP relevante Informationen offenlegen.

Im Gegenzug erhalten die Lieferanten erstmalig Zugang zu Informationen über die tatsächliche Nutzung ihrer Produkte und die daraus resultierenden Fehlerzustände. Das eröffnet großes Potential zur Optimierung der Produkte und des Claim Managements.



**Abbildung 12: Digitales Modell eines Triebwagens**  
(© IPN Intelligent Predictive Networks GmbH)



## Ziel

Der Hersteller von Einstiegssystemen plant die Einführung von Predictive Maintenance (PdM) sowie die Integration der zugrundeliegenden Technologien in die eigenen Kernbereiche (Entwicklung, Service). Dadurch soll das Unternehmen befähigt werden, den Zustand der Einstiegssysteme im Feld zu überwachen, Fehlfunktionen frühzuerkennen und die Produktentwicklung zu optimieren. Langfristig sollen neue datenbasierte Servicemodelle entstehen.

## Lösung

Um die Anforderungen zu erfüllen wurde ein durchgängiges, softwaregestütztes Verfahren von der Datenerzeugung, über den Datentransfer bis hin zur Prognose eingeführt.

- Die benötigten Daten wurden identifiziert, Qualitätssicherungsroutrinen erstellt und eine sichere Datenübertragung entwickelt.
- Es wurden automatisierte Verarbeitungsroutinen entwickelt um auch die implizite Information (Bspw. Datenmuster im Zeitverlauf) in den Signalen nutzbar zu machen.
- Gemeinsam mit Schlüsselkräften aus den Fachbereichen wurden Indikatoren und Prognosemodelle entwickelt.

## Nutzen

Durch die Einführung von Predictive Maintenance konnte das Unternehmen die Verfügbarkeit seiner Einstiegssysteme erhöhen und die Life Cycle Costs reduzieren. So kann heute bspw. eine Schwergängigkeit der Türe frühzeitig erkannt und das Blockieren rechtzeitig verhindert werden. Durch eine Einschulung in die genutzten Technologien kann das Unternehmen weitere Zustandsindikatoren entwickeln und anhand von Prüfstands Daten eventuelle Designschwächen noch vor der Produkteinführung identifizieren.

## 8 ,Panta rhei' in der Instandhaltung

### Datenströme und message-orientierten Architekturen in der Instandhaltung

Christoph Schranz, Dietmar Glachs, Georg Güntner (Salzburg Research)

*„Phanta rhei“ („Alles fließt“) ist ein Ausspruch, der dem griechischen Philosophen Heraklit von Ephesos (520-460 v. Chr.) zugeschrieben wird. Im Kontext seiner „Flusslehre“ ging es Heraklit um die Veränderlichkeit der Welt, die er mit dem Bild eines Flusses veranschaulichte: „Wer in denselben Fluss steigt, dem fließt anderes und wieder anderes Wasser zu.“*

Diese Sichtweise lässt sich auch auf moderne Produktions- und Instandhaltungsprozesse übertragen: Die Menge und Vielfalt der erfassten Daten nimmt mit dramatischer Geschwindigkeit zu. Dies erfordert Architekturen, die Datenströme sicher und zuverlässig verwalten können. Wir stellen im Folgenden eine message-orientierte Architektur vor, die die Kopplung von Datenquellen (z.B. Sensoren) mit datenverarbeitenden Systemen (z.B. Planungs- und Prognose-Systemen) in Instandhaltungsszenarien auf einfache Weise ermöglicht.

#### 8.1 Datenflüsse in der Instandhaltung

Moderne Produktionsanlagen und vernetzte Fabriken sind mit umfassender Sensorik ausgestattet und stellen große Mengen von **Daten über Anlagen- und Prozess-Zustände** allen potenziellen Abnehmern zur Verfügung. Im Kontext der Instandhaltung werden diese Daten beispielsweise zur **Zustandsüberwachung**, zur **Visualisierung** von Prozess- und Qualitätsparametern oder zur **vorausschauenden Instandhaltung** verwendet.

Eine große Herausforderung in diesem Szenario besteht darin, dass die Sensordaten gesichert, im richtigen Kontext und möglichst flexibel an die richtigen „Abnehmer“ (d.h. Informationssysteme) übertragen werden. Solche Abnehmer sind beispielsweise Produktionsplanungs- und -steuerungs-Systeme (ERP), Betriebs- oder Maschinendatenerfassungs- (BDE/MDE) oder Instandhaltungsplanungs-Systeme (CMMS / IPSA) (siehe dazu Beitrag „Strategisches Condition Monitoring“ auf Seite 17 und Beitrag „Digitalisierung ohne Software“ auf Seite 12). Weitere Abnehmer sind Analyse-Werkzeuge, die mit statistischen Methoden oder mit Mitteln der künstlichen Intelligenz (z.B. Machine Learning) Prognosen erstellen und dabei aktuelle Messwerte mit historischen Daten verknüpfen (siehe dazu Beitrag „Predictive Maintenance“ auf Seite 19).

Für den Transport der Daten in Produktions- und Instandhaltungsprozessen bietet sich der Einsatz eines Messaging-Systems an. Wir beschreiben im Folgenden eine im Projekt i-Maintenance entwickelte message-orientierte Architektur und deren Implementierung als Open Source Lösung im i-Maintenance Toolset.

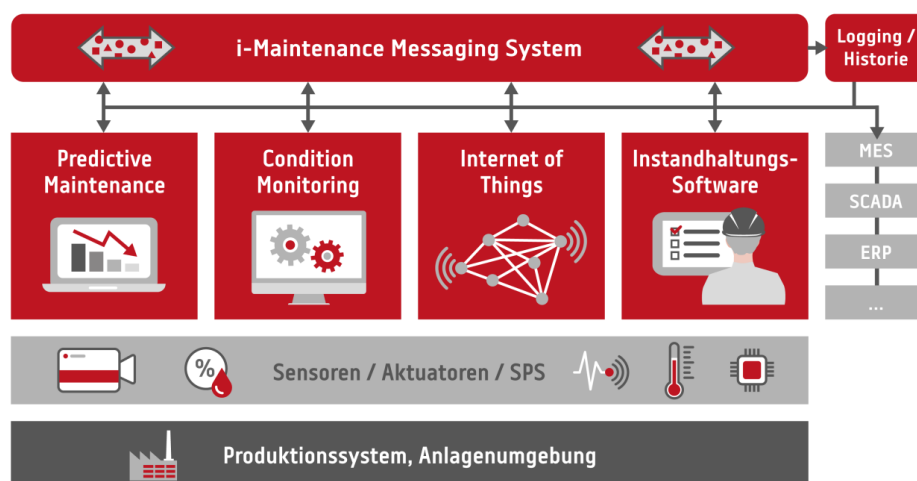
#### 8.2 Kommunikation über Datenströme

Die Kommunikation zwischen den Datenquellen und datenverarbeitenden Systemen wird in unserem Ansatz durch ein flexibles Messaging-System (siehe Abbildung 13) ermöglicht, welches für den Transport aller instandhaltungs-relevanten Informationen zwischen den einzelnen Anwendungen sorgt. Die Anlagen bzw. die in den Anlagen verbauten Sensoren melden die von ihnen erfassten Daten lediglich an das Messaging-System. Dieses übernimmt die Verteilung der Informationen an alle betroffenen Teilnehmer und überwindet dabei System-, Kompatibilitäts- und Kommunikationsgrenzen. Predictive Maintenance Systeme können sich

ebenso wie Instandhaltungsplanungs-Systeme in die Informationsflüsse „einklinken“ und ihrerseits instandhaltungsrelevante Meldungen über das Messaging-System publizieren.

Ein erster Vorteil dieses Ansatzes ist, dass sich jeder Kommunikationspartner nur um seine eigenen Aufgaben kümmern muss: Die Kommunikation zwischen den Teilnehmern wird vollständig vom Messaging-System abgedeckt. Ein weiterer Vorteil ist, dass sich jedes teilnehmende System nur einmal mit dem Messaging-System „arrangieren muss“. Wiederkehrende Integrationsschritte mit jedem neu hinzukommenden System sind nicht mehr notwendig.

Abbildung 13 zeigt einen schematischen Überblick des Einsatzes einer message-orientierten Architektur in einem Instandhaltungsszenario. Sensorik und Steuerungssysteme überwachen das Produktionssystem und ermitteln Umgebungs- und Prozessparameter. Die Messwerte werden mit dem Zeitpunkt der Messung und einer eindeutigen Datenstrom-Kennung an das Messaging-System weitergereicht und von subskribierten Anwendungen (Predictive Maintenance, Instandhaltungsmanagement) empfangen. Eine Datenstrom-Kennung identifiziert dabei den Sensor und die betroffene Maschine. Sie legt auch fest, welche Daten bzw. welches Datenformat diesem Datenstrom zugrunde gelegt wird. Anwendungen „subskribieren“ Datenströme und können sich so auf valide Daten(-formate) verlassen und die empfangenen Daten verarbeiten. Jede Anwendung kann ihrerseits Nachrichten an das Messaging-System mit nunmehr „höherwertigen“ Informationen, z.B. eine „Vorausschauende Störmeldung“ auf dem konfigurierten Datenstrom publizieren. Das Messaging-System übernimmt die Zustellung an die Empfänger.



**Abbildung 13: Systemkomponenten im i-Maintenance Toolset**  
(© Salzburg Research)

Technologisch basiert dieses Messaging-System auf einer verteilten Streaming-Plattform, sowie einem offenen Standard zur Beschreibung von (Mess-)Daten. Die Kommunikation am Messaging-System erfolgt somit in einem generischen Format. Die Anbindung der einzelnen Softwarekomponenten an das System geschieht nicht-invasiv (d.h. ohne starken Eingriff) durch spezielle „Adapter“. Diese Adapter übernehmen die Interpretation und Transformation der Nachrichten aus dem Messaging-System in das Format der jeweiligen Komponente.

Im Projekt i-Maintenance wurde eine Open Source Implementierung der hier vorgestellten message-orientierten Architektur entwickelt: Die Software wird als **„i-Maintenance Toolset“** bezeichnet und ist auf GitHub downloadbar ([github.com/i-maintenance/](https://github.com/i-maintenance/)). Der Einsatz dieser Software in einer Laborumgebung wird nachfolgend in einem Anwendungsbericht beschrieben (siehe dazu Anwendungsbericht „ Datensilos integrieren“ auf Seite 25).



## 9 Datensilos integrieren

### Nachrichtenströme für exzellente Instandhaltung

**Dietmar Glachs, Johannes Innerbichler, Christoph Schranz, Felix Strohmeier  
(Salzburg Research)**

*Im folgenden Anwendungsbericht stellen wir die Integration von industriellen Sensoren und Softwaresystemen für Instandhaltungsplanung, Condition Monitoring und Predictive Maintenance durch ein im Projekt i-Maintenance entwickeltes Toolset vor. In einem Demonstrationslabor werden die instandhaltungsrelevanten Messdaten einer Anlage für die Berechnung von „predictive Alerts“ und zur Planung von Instandhaltungsmaßnahmen herangezogen.*

#### Ausgangssituation

Im Beitrag „Panta rhei in der Instandhaltung“ (Seite 23) wurde eine message-orientierte Architektur zur Lenkung der Datenflüsse in Instandhaltungsprozessen beschrieben. Die darauf basierende Open Source Implementierung, das **i-Maintenance Toolset**, wurde in einem Labor bei Salzburg Research für Vorführungs- und Schulungszwecke eingesetzt. Der Demonstrator zeigt die Verarbeitung von instandhaltungsrelevanten Messwerten einer Produktionsanlage in kommerziellen Lösungen für Instandhaltungsmanagement (isproNG) und für Predictive Maintenance (inCARE).

Als modellhafte Industrieanlage fungiert in der Laborumgebung ein 3D-Drucker, der mit IoT-Sensoren und einem Condition Monitoring System ausgestattet wurde, um Daten für verschiedene Instandhaltungsszenarien bereitzustellen: So wird z.B. die Temperatur des Druckmaterials kontrolliert und der Materialfluss zum Druckkopf überwacht. Ziel der Laborinstallation war die frühzeitige Erkennung von Produktionsausfällen anhand der erfassten Daten und durch Vergleich mit historischen Aufzeichnungen. Durch rechtzeitige Instandhaltungsmaßnahmen sollen Zeit-, Material- und Energieverluste minimiert werden. Eine Übersicht der Datenströme ist in Abbildung 14 dargestellt.

#### Datenerfassung an der Produktionsanlage

Der 3D-Drucker im Labor wurde sowohl mit einer industriellen Lösung zur Temperaturfeldmessung (Condition Monitoring), als auch mit einem IoT-Messsystem, bestehend aus Materialvorschubsensor, Beschleunigungssensor und Videoüberwachung ausgestattet. Beide Messsysteme senden kontinuierlich Daten an das i-Maintenance Messaging System.

#### Kommunikation im i-Maintenance Toolset

Die Kerntechnologie im i-Maintenance Toolset bildet die Streaming-Plattform Apache Kafka<sup>1</sup>. Im Vergleich zu anderen Messaging Systemen stehen bei Apache Kafka Skalierbarkeit und Ausfallsicherheit durch Redundanzen im Vordergrund. Die semantische Beschreibung der Datenströme liefert ein GOST Server<sup>2</sup>, welcher auf dem offenen Sensor-Things Standard beruht und sich, in Übereinstimmung mit der Instandhaltungsmanagementsoftware, auch um die Verwaltung von Sensorinstanzen kümmert. Diese Zusatzinformationen werden von den Adaptern

---

<sup>1</sup> Apache Kafka: <https://kafka.apache.org>

<sup>2</sup> GOST IoT Plattform: [www.gostserver.xyz](http://www.gostserver.xyz)

genutzt um die Nachrichten für das jeweils angeschlossene System aufzubereiten und zu interpretieren.

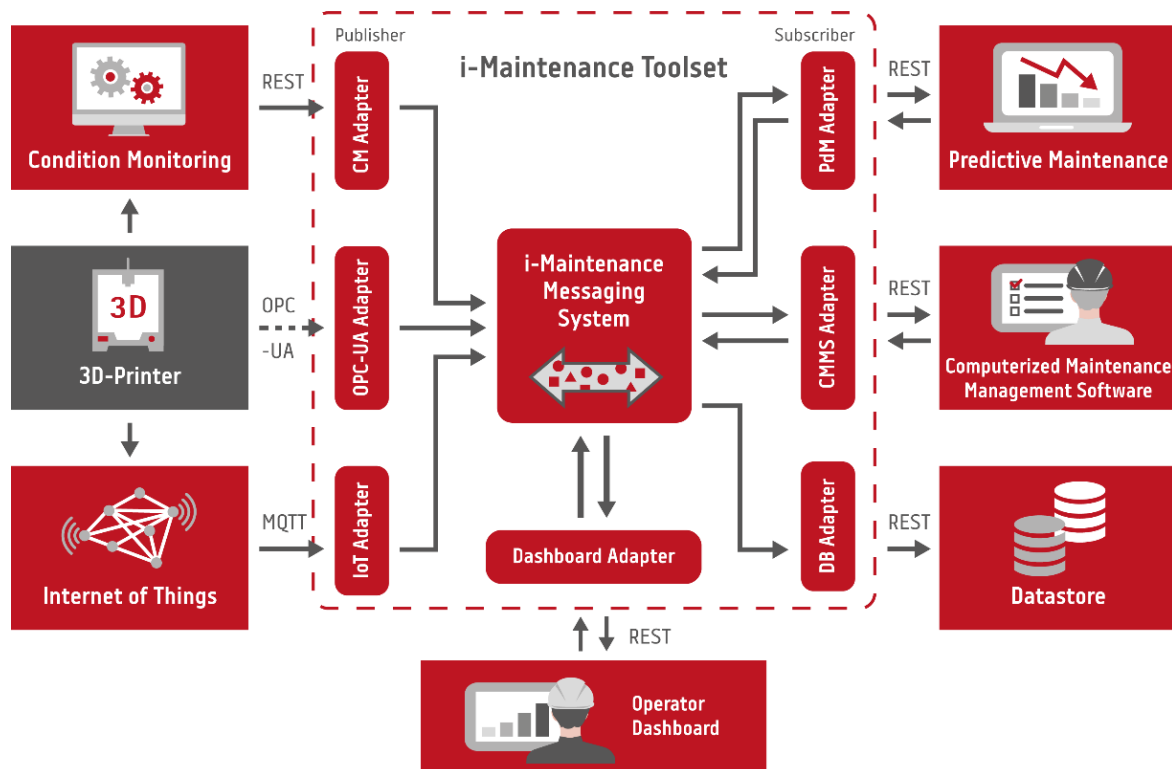


Abbildung 14: Übersicht der Datenströme im i-Maintenance Labor  
(© Salzburg Research)

## inCARE - Predictive Analytics zur Prognose der Restlaufzeit

Anhand von Aufzeichnungen über Störfälle, historischer Messdaten und Echtzeit-Daten wird mit Hilfe von Prognosemodellen die Restlaufzeit bis zur Durchführung einer Druckkopf-Reinigung berechnet. Die Prognosen des Predictive Analytics Systems inCARE (siehe dazu Beitrag „Predictive Maintenance“ auf Seite 19) werden als „Predictive Alerts“ an das i-Maintenance Messaging System übergeben und vom Instandhaltungsmanagement-System (isproNG) übernommen.

## isproNG – Planung von Instandhaltungsmaßnahmen

Im Rahmen des Projekts wird die Instandhaltungssoftware isproNG eingesetzt (CMMS) (siehe dazu Beitrag „Digitalisierung ohne Software“ auf Seite 12). Diese stellt Informationen über die Anlagenstruktur und das Ersatzteilmanagement zur Verfügung. Die Instandhaltungssoftware übernimmt wichtige am 3D-Drucker erfasste Sensorwerte, um z.B. bei Über- oder Unterschreitung von Schwellwerten eine Störmeldung zu generieren. Zusätzlich erhält isproNG die Predictive Alerts des Analyse-Werkzeugs inCARE. Die berechneten Restlaufzeiten der Komponenten des 3D-Druckers werden im Instandhaltungsplanungs-System in vorausschauende Störmeldungen übergeführt.

## Nutzen

Das i-Maintenance Labor demonstriert eine umfassende Lösung für datenbasiertes Instandhaltungsmanagement auf Basis von industriellem Condition Monitoring und kostengünstiger, flexibel einsetzbarer IoT-Sensorik. Dabei werden spezialisierte Softwarekomponenten in das

Toolset integriert. Durch den Einsatz zustandsorientierter und vorausschauender Instandhaltung lassen sich Zeit-, Material- und Energieverluste reduzieren. Zudem konnten die zugrundeliegenden Methoden im Labor validiert und optimiert werden. Ein Dashboard bietet einen Überblick über die wichtigsten Betriebsdaten der Anlage und bildet den Digitalen Zwilling der Anlage ab (siehe dazu Beitrag „Digital Twins“ auf Seite 28).

### Zahlen – Daten – Fakten

Das i-Maintenance Labor wurde im Zeitraum zwischen November 2016 und Oktober 2018 aufgebaut und dient zu Schulungs- und Demonstrationszwecken für die Integration von Messsystemen mit proprietären Informationssystemen über ein Open Source Messaging-System.

Beteiligte Partner	Aufgabe im Projekt	Domain/Kontakt
H&H Systems Software GmbH	Bereitstellung und Integration von isproNG	<a href="http://www.ispro-ng.com">www.ispro-ng.com</a>
IPN Intelligent Predictive Networks GmbH	Bereitstellung und Integration von inCARE und Erstellung eines prädiktiven Analysemodells	<a href="http://www.predictive.at">www.predictive.at</a>
Messfeld GmbH	Bereitstellung einer Condition Monitoring Lösung	<a href="http://www.messfeld.com">www.messfeld.com</a>
Salzburg Research Forschungsgesellschaft m.b.H.	Konzeption, Entwicklung und Validierung des Toolsets im i-Maintenance Labor; Integration der Softwaresysteme	<a href="http://www.salzburgresearch.at">www.salzburgresearch.at</a> , <a href="https://github.com/i-maintenance/">github.com/i-maintenance/</a>

## 10 Digital Twins

### Herausforderungen, Anwendungen und Nutzen von digitale Zwillingen in der Instandhaltung

Georg Güntner (Salzburg Research)

*Der Begriff „digitaler Zwilling“ („Digital Twin“) hat sich in den vergangenen Jahren zu einem weiteren neuen Schlagwort in der Industrie entwickelt: Er wird in den Strategie- und Produktionsabteilungen der Fertigungsindustrie mittlerweile in einem Atemzug mit Begriffen wie „Industrie 4.0“, „IoT“, „Big Data“ und „digitale Transformation“ genannt. Im folgenden Artikel werden die Herausforderungen, Anwendungsmöglichkeiten und der mögliche Nutzen digitaler Zwillinge in der Instandhaltung beschrieben.*

#### 10.1 Die Rolle von Digital Twins in der Instandhaltung

##### Motivation

Das renommierte amerikanische Marktforschungsunternehmen Gartner hat 2017 die Digital Twins zu einem der zehn bedeutendsten technologischen Trends erklärt ([Gartner2017]). Auch die Hannover Messe 2018 widmete dem Thema Digital Twin einen Schwerpunkt ([Han2018a], [Han2018b]).

Das sollte Anlass geben, sich in einem Bericht über die digitale Transformation der Instandhaltung auch mit den Herausforderungen und potenziellen Anwendungen von Digital Twins in der Instandhaltung auseinanderzusetzen. Oder etwa nicht? Haben digitale Zwillinge überhaupt einen Bezug zur Instandhaltung? Bevor wir uns mit diesen Fragen auseinandersetzen, vorab eine Definition des Begriffs.



Abbildung 15: Digital Twins unterstützen in der Ausbildung  
(© Salzburg Research, Fotolia.com, Gorodenkoff)

##### Definition

Eine allgemeine Definition des Begriffs findet sich im Gabler Wirtschaftslexikon: „Ein digitaler Zwilling (englisch ‚Digital Twin‘) bezieht sich auf ein computergestütztes Modell eines materiellen oder immateriellen Objekts, welches für verschiedene Zwecke verwendet werden kann.“ ([Spring2017]).

##### Digital Twins für industrielle Assets

In die industrielle Fertigung übertragen treten an die Stelle der materiellen Objekte Maschinen und Anlagen (**industrielle Assets**) sowie deren Komponenten, aber auch Werkzeuge, Ersatzteile und die erzeugten Halb- und Fertig-Produkte. Die computergestützten Modelle bilden die geometrischen, kinetischen und/oder Zustandsinformationen dieser Objekte ab. Immaterielle

Objekte sind im industriellen Kontext beispielsweise die Produktions- und Instandhaltungsprozesse.

### Sensoren, Lebenszyklus und die Nutzung der Daten

Digitale Zwillinge kann man sich als digitales Abbild von industriellen Anlagen in einem computergestützten Modell vorstellen. Sie verwenden Sensoren, um die Betriebszustände und -prozesse von industriellen Assets über ihren **Lebenszyklus** hinweg digital zu erfassen. Die gesammelten Daten werden in einem Datenhaltungssystem gespeichert. Dabei kommen klassische Datenbanksysteme oder Cloud-Lösungen zum Einsatz. Digital Twins bilden daher eine aktuelle digitale Kopie der Zustände und Eigenschaften von industriellen Assets ab. Sie unterstützen damit potenziell die **Überwachung** (Monitoring), **Diagnose** und **Vorhersage** des Betriebes von Anlagen, indem sie die gesammelten Daten visualisieren, analysieren und zukünftige Zustände und Ereignisse prognostizieren können ([Wiki2018]).



Abbildung 16: Visualisierung von Anlagendaten mit Digital Twins  
(© Salzburg Research, Fotolia.com, zapp2photo)

## 10.2 Der Nutzen von Digital Twins für die Instandhaltung

### Zukunftsorientierte Instandhaltungsstrategien

Allein aus diesem ersten Denkansatz, der sensorischen Erfassung von Zustandsinformationen, lässt sich die Frage nach dem Bezug von digitalen Zwillingen zur Instandhaltung eindeutig beantworten: Instandhaltungsprozesse profitieren deutlich vom Konzept des digitalen Zwillings, indem sie die Zustände und Betriebsparameter von Maschinen und Anlagen über längere Zeit erfassen und damit instandhaltungsrelevante Entscheidungen und Handlungen ableiten ermöglichen.

Erfüllen nicht auch Condition Monitoring Ansätze einen ähnlichen Zweck? Im Grunde ja, aber wir haben bisher nur einen Aspekt der digitalen Zwillinge betrachtet. Aber schon dieser Aspekt zeigt uns, dass wie digitale Zwillinge für die Anlagenüberwachung, die Ermittlung von Kennzahlen, die frühe Erkennung, Vorhersage und gänzliche Vermeidung von Schadensfällen und Stillständen verwenden können. Damit lassen sich nicht nur **zukunftsorientierte Instandhaltungsstrategien** (zustandsorientierte bzw. voraussagende Instandhaltung, vgl. [Guen2015c]) umsetzen, sondern es bieten sich auch **neue Geschäftsmodelle** (beispielsweise Remote Services und Predictive Maintenance Services).

### Die vielen Gesichter des „Digital Twins“

Ihr volles Potenzial spielen digitale Zwillinge aus, wenn sie die über eine reale Anlage verfügbaren digitalen Informationen intelligent verknüpfen und dadurch zu einem für den jeweiligen Anwendungsbereich vollständigeren digitalen Abbild der Anlage kommen. Ein Digital Twin



kann also viele verschiedene Gesichter haben. Allein die Anwendung und der geplante Nutzen entscheiden, welcher Ausschnitt des gesamten digitalen Abbilds umgesetzt wird.

### Digitale Zwillinge als fachübergreifender Ansatz

Die Informationen, die das digitale Abbild eines industriellen Assets formen, kommen aus verschiedenen Fachbereichen (siehe Abbildung 17):

- dem Produktionsplanungs- und Steuerungs-System (ERP-System),
- den Supply-Chain-Management-Systemen,
- den Konstruktions- und Entwicklungsabteilungen mit den dort eingesetzten CAD- und Simulations-Systemen
- den Instandhaltungsabteilungen mit den dort eingesetzten CMMS-Systemen,
- den Produktionsabteilungen und den dort eingesetzten Betriebsdatenerfassungs- und SCADA-Systemen,
- den Dokumentationsabteilungen,
- den Asset Management Abteilungen
- den IT-Abteilungen und den dort verwalteten Datenhaltungssystemen einschließlich der Cloud-Plattformen

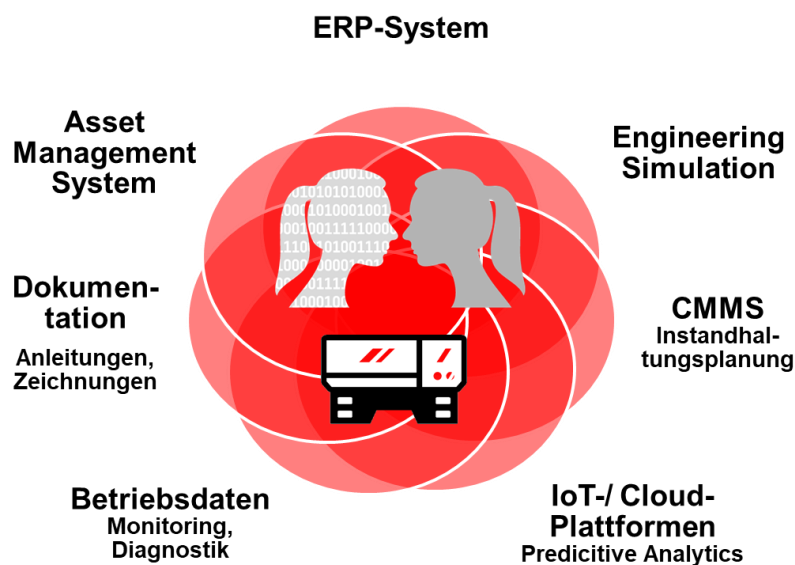


Abbildung 17: Informationsintegration im Digital Twin

### Das Puzzle der Daten und Informationen eines digitalen Zwillings

Die Liste der möglichen/relevanten Informationen und ihr Bezug zur Instandhaltung umfasst dabei:

- Die Stammdaten der Anlage: z.B. die beschreibenden Daten eines technischen Platzes, die „Verwaltungsschale“ von RAMI 4.0 (vgl. [BMW2016], [DIN91345-2016]), dazu gehören auch Ortskoordinaten (für Weg- und Lagebeschreibung) und kennzeichnende RFID-Codes (für die Identifikation von Anlagen und Bauteilen), usw.
- Die Anlagenstruktur: z.B. aus dem CAD-System beim Hersteller, dem ERP-System, dem CMMS-System, usw.
- Instandhaltungspläne und die Dokumentation von Instandhaltungsmaßnahmen: üblicherweise im CMMS verwaltet.

- Die Betriebs- und Prozessdaten als Basis für Monitoring, Diagnostik und Predictive Maintenance: Dies entspricht dem eingangs erwähnten Aspekt der Sensorik, kann jedoch um weitere Informationen ergänzt werden (Position, Bewegung, Formen, usw.).
- Die 3D-/CAD-Modelle der Anlage: diese unterstützen neben der kinetischen Simulation auch Schulungsmaßnahmen und Instandhaltungsanleitungen mit Augmented Reality und Virtual Reality (z.B. für Assistenzsysteme).
- Die Anlagen-Dokumentation: CAD-Zeichnungen, Betriebs- und Wartungsanleitungen (auch audiovisuelle Aufzeichnungen über die Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen), Prüfbescheide, Zertifikate, usw. Dies ist die Domäne von Dokumenten-Verwaltungssystemen (DMS)
- Dynamische Modelle der Anlage für Simulationszwecke (z.B. für virtuelle Steuerungskonzepte und für Tests in der Inbetriebnahme-Phase).
- Informationen zum Lebenszyklus: Änderungsdokumentation, historische Information über Störmeldungen, Stillstände und Instandhaltungsmaßnahmen.

### Gesamtkonzept für den Digital Twin

Die Integration und Beherrschung der Vielfalt der in einem Digital Twin zusammenlaufenden Informationen und Daten ist eine durchaus komplexe Aufgabe, der sich Software-Anbieter (z.B. ERP-Lösungen, IoT-Plattformen), Systemintegratoren, Anlagen-Herstellern und Service-Anbietern aus verschiedenen Blickwinkeln annähern. Die Unternehmen sind bei der Wahl der richtigen Digitalisierungsstrategie und ihrer Partner durchaus gefordert.

Aber es ist nicht die Instandhaltungsabteilung allein, die das Konzept und die Implementierung einer Digital Twin Lösung beauftragen muss. Vielmehr geht es um ein **Gesamtkonzept für das digitale Abbild eines industriellen Assets**, an dem die IT-, Engineering-, Produktions-, Instandhaltungs- und Asset Management Abteilungen gleichermaßen – und oft über die Unternehmensgrenzen (z.B. Anlagen-Hersteller, Service-Anbieter) hinaus – beteiligt sind. Die Aufgabe der Instandhaltungs-Abteilung besteht darin, dafür zu sorgen, dass ihre wichtigsten Anliegen in einer Digital Twin Implementierung berücksichtigt werden: Dazu gehören das Monitoring (z.B. Instandhaltungs-Dashboards), die Unterstützung fortschrittliche Instandhaltungsstrategien (nutzungs- oder zustandsorientierte Instandhaltung), komplexe Prognostik (z.B. Predictive Maintenance), die Verfügbarkeit von Dokumentation und multimedialen Anleitungen, AR-/VR-Assistenzsysteme für die Instandhaltung (vgl. Abbildung 15 auf Seite 28).

## 11 Haben Ihre Anlagen schon eine IP-Adresse?

### Grundlagen und Anwendungsbeispiele für den Einsatz von IoT-Technologien in der Instandhaltung

Georg Güntner (Salzburg Research)

*Wenn industrielle Anlagen, Maschinenkomponenten, Sensoren und Aktoren mit dem Internet verbunden werden und so zu einem Teil des industriellen Internets der Dinge (IIoT) werden, dann birgt das auch für die Instandhaltung große Potenziale und wirkt sich auf die Geschäftsmodelle im Instandhaltungsbereich aus. Der folgende Artikel beleuchtet die Grundlagen und ausgewählte industriellen Szenarien für den Einsatz des Internets der Dinge in der Instandhaltung.*

#### 11.1 Instandhaltung im Internet der Dinge

Eine im Jahr 2015 durchgeführte Studie über die Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die Instandhaltungsbranche (siehe dazu „Roadmap der Instandhaltung 4.0“, [Guen2015c]) zeigte, dass das Internet der Dinge und seine Anwendungsmöglichkeiten und der Nutzen für die Instandhaltung in den Produktions- und Instandhaltungsabteilungen noch wenig bekannt waren. Auch wenn der Begriff heute von zahlreichen Consumer-Anwendungen her bekannter ist (beispielsweise von Gebäudesteuerungen oder von der Messung von Gesundheitsparametern



**Abbildung 18: Instandhaltung im Internet der Dinge**  
(© Salzburg Research, Fotolia.com, kinwun)

über mobile Apps), möchten wir dennoch im Folgenden eine Definition des Begriffs geben und von dieser ausgehend die Bedeutung der Technologie für die Instandhaltung zu beschreiben. Was also ist das „Internet der Dinge“ und wie wird es sich auf die Instandhaltung auswirken?

Das „Internet der Dinge“ („Internet of Things“ – kurz: „IoT“) bezeichnet „die Vernetzung von Gegenständen mit dem Internet, damit diese Gegenstände selbstständig über das Internet kommunizieren und

so verschiedene Aufgaben für den Besitzer erledigen können. Der Anwendungsbereich erstreckt sich dabei von einer allgemeinen Informationsversorgung über automatische Bestellungen bis hin zu Warn- und Notfallfunktionen.“ (Quelle: Gabler Wirtschaftslexikon<sup>3</sup>). Der Begriff der Gegenstände ist dabei sehr weit gefasst und umfasst z.B. Smart Phones, Thermoskannen, Parkuhren, Waschmaschinen, Autos und Spielzeug. Im industriellen Umfeld sind es Roboter, Maschinen, Komponenten, Werkzeuge und Ersatzteile, tragbare Geräte, Sensoren u.v.a.m., die zu Objekten im Internet der Dinge werden.

<sup>3</sup> Gabler Wirtschaftslexikon: Definition „Internet der Dinge“: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/internet-der-dinge.html>



Die sich um das Internet of Things (IoT) scharenden Technologien, Konzepte und Geschäftsmodelle sind in den letzten Jahren zu einer der bedeutendsten Strömungen in der industriellen Digitalisierung geworden. Viele andere emergente Technologie-Trends (z.B. IPv6, 5G, Big Data, Cloud, Digital Twin (siehe dazu Beitrag „Digital Twins“ auf Seite 28), Industrie 4.0) stehen in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Internet of Things. In vielen Fällen werden begrifflich auch die mit dem Internet der Dinge verknüpften Dienste mit einbezogen: Man spricht vom „Internet der Dinge und Dienste“ („**Internet of Things and Services**“ – kurz: **IoTS**). Die Dienste bilden wiederum die Grundlage für die Entwicklung neuer Wertschöpfungsketten und Geschäftsmodelle.

## 11.2 Die Potenziale des IoT für die Instandhaltung

Bei aller Komplexität der mit dem Internet of Things verbundenen Ideen darf oft nicht übersehen werden, dass die Umsetzung durchaus einfach sein kann: Beispielsweise reicht oft eine einfache Möglichkeit zur **Identifizierung von Gegenständen**, um eine Verbindung zwischen der realen und der virtuellen Welt zu schaffen. Technologien wie Barcodes<sup>4</sup>, RFID<sup>5</sup>, NFC<sup>6</sup> und iBeacons<sup>7</sup> werden daher immer wieder in Verbindung mit dem Internet of Things gebracht. Mithilfe von **mobilen Geräten** oder **Datenbrillen** lassen sich so sehr schnell Anwendungen entwickeln, die dem Instandhaltungspersonal rasch und zuverlässig Informationen über den Zustand und die Wartungsanweisungen einer Anlage gibt.

Wesentlich an der obigen Definition für das Internet der Dinge erscheint uns im Zusammenhang mit Industrie 4.0 der Begriff „selbstständig“ und damit der **Autonomie**: Vernetzte, autonome cyber-physische Systeme sind eine der grundlegenden Vision von Industrie 4.0. Es geht im Internet der Dinge nicht um die „traditionelle“ Verbindung zwischen Sensoren und Aktoren mit einer zentralen Steuerungs-Einheit, sondern **um die Kommunikation der Gegenstände und der beteiligten IT-Systeme untereinander**. Dabei verfügen diese Gegenstände über eingebaute Mikroprozessoren, die die Verbindung mit dem Internet sicherstellen und ein gewisses Maß an „lokaler Intelligenz“ bereitstellen (in der Software-Technologie spricht man im Zusammenhang mit vernetzten autonomen Systemen von „Software Agenten“<sup>8</sup>).

Im Bereich der Produktion sind es Maschinen und Anlagenteile, die über ihren aktuellen Zustand Bescheid wissen, möglicherweise auch selbst Prognosen über ihren zukünftigen Zustand machen können, und daraus bis zu einem gewissen Grad autonome Entscheidungen



**Abbildung 19: Datensammlung und -visualisierung im Industrial IoT**  
(© Salzburg Research, Fotolia.com, ekkasit919)

<sup>4</sup> Wikipedia: Barcode bzw. Strichcode - <http://de.wikipedia.org/wiki/Strichcode>


<sup>5</sup> Wikipedia: RFID - <http://de.wikipedia.org/wiki/RFID>

<sup>6</sup> Wikipedia: Near Field Communication (NFC) - [http://de.wikipedia.org/wiki/Near\\_Field\\_Communication](http://de.wikipedia.org/wiki/Near_Field_Communication)

<sup>7</sup> Wikipedia: iBeacon - <http://de.wikipedia.org/wiki/iBeacon>

<sup>8</sup> Wikipedia: Software Agent – <http://de.wikipedia.org/wiki/Software-Agent>

ableiten können (z.B. „Drehzahl reduzieren“, „Kühlung verstärken“, „Instandhaltungsmaßnahmen anfordern“). Eine Voraussetzung für derartige Entscheidungen ist die Erfassung von Betriebs-, Qualitäts- und Umgebungsparametern über entsprechende **Sensorik**. Weitere Voraussetzungen sind die sichere und zuverlässige Übertragung der Daten an IT- und Datenverwaltungssysteme (unabhängig davon, ob dies in klassischen Unternehmensdatenbanken oder in der **Cloud** erfolgt) und die Bereitstellung von **Analyseverfahren** zur Interpretation und zur Ableitung von Maßnahmen aus den Daten in Echtzeit (dazu gehören im Bereich der Instandhaltung unter anderem Verfahren der **Predictive Maintenance** (siehe dazu Beitrag „Predictive Maintenance“ auf Seite 19).

Eine wichtige Rolle in der steigenden Datenflut kommt der **Visualisierung** der gesammelten Daten zu, die große Datenmengen den Verantwortlichen in Produktion und Instandhaltung so darstellen muss, dass schnell entsprechende Entscheidungen getroffen werden können („Operator Dashboard“, „Maschinen Dashboard“- siehe dazu den Anwendungsbericht „ Datensilos integrieren“ auf Seite 25).

### 11.3 Anwendungsszenarien

Aus der Vielzahl der möglichen Anwendungsszenarien haben wir im Folgenden zwei Beispiele ausgewählt. Weitere Beispiele finden sich in dem im Dezember 2018 erschienenen White Paper „Instandhaltung im Internet der Dinge“ ([Guen2018a]).

#### Industrielle Assets im Internet der Dinge

Mit dieser Überschrift eröffnen wir einen Blick in die Welt der „industriellen Assets“, die im industriellen Internet der Dinge eine Repräsentation haben, etwa indem sie über eine IP-Adresse verfügen und mit anderen Assets oder IT-Plattformen vernetzt sind. Gemeint sind damit Anlagen, Komponenten, Roboter, Werkzeuge, Transport-Systeme, Infrastruktur-Einrichtungen u.v.a.m., die auf irgendeine Weise mit dem Internet verbunden sind und darüber Daten und Steuerungsbefehle austauschen und somit Teil eines Produktionsökosystems werden, in dem theoretisch jedes Asset mit jedem anderen kommunizieren kann. Dies ermöglicht eine neuartige Verknüpfung von anlagenbezogenen Datenquellen mit IT-Systemen, die spezialisierte Dienste anbieten: Darunter fallen natürlich auch Dienste, die die Instandhaltung der Anlagen verändern und revolutionieren. Warum?

Neue Anlagen erfassen **Betriebs- und Qualitätsdaten** und stellen diese instandhaltungsrelevanten IT-Diensten zur Verfügung, die auf unterschiedliche Aufgaben spezialisiert sind: etwa die Visualisierung, die Erkennung kritischer Betriebszustände und die Prognostizierung von Störfällen. Wir unterscheiden an dieser Stelle noch nicht, ob die IT-Dienste beim Betreiber, beim Hersteller, beim Instandhaltungsdienstleister oder anderen spezialisierten Dienstleistern erbracht werden. Aus Gründen der Datensicherheit ist es für viele Unternehmen ein wichtiges Kriterium, ob und welche Daten die Produktionsumgebungen verlassen. Die Geschäftsmodelle, die sich um die Nutzung solcher Daten außerhalb der Unternehmensgrenzen entwickeln, werden also Themen der **IT-Security** (Datensicherheit, Datenschutz) vorrangig lösen müssen.

Das Neuartige an IoT-fähigen Assets ist nun weniger, dass Daten gesammelt und übermittelt werden (das geschieht auch in der Automatisierung und im Condition Monitoring), sondern wie diese Daten übermittelt werden (d.h. welche **Protokolle** zum Einsatz kommen) und wie auf sie zugegriffen werden kann (d.h. welche **Schnittstellen und Standards** zum Einsatz kommen) (siehe dazu Beitrag „Panta rhei“ in der Instandhaltung“ auf Seite 23).


Ein weiteres Kennzeichen von IoT-fähigen Assets ist die Möglichkeit der Durchführung von **Software-Updates** über das Internet (z.B. Einspielen neuer Features oder Fehlerbehebung).

Dies erfordert robuste Testverfahren vor der Ausrollung der neuen Software, hat aber den Vorteil, dass die Installation ohne Präsenz von Technikern vor Ort durchgeführt werden kann.

### Remote Service Konzepte

Ein Spezialfall der Überwachung, Diagnostik und Prognostik liegt vor, wenn Produktionsanlagen über das Internet der Dinge Betriebsdaten an den Anlagenhersteller (bzw. an einen von diesem bereitgestellten Datenpool oder ein Cloud-Plattform) senden. Hierbei ist durch vertragliche Rahmenbedingungen sicherzustellen, dass die Daten nur zu vorgesehenen Zwecken verwendet werden, dass die Daten vor ungerechtfertigtem Zugriff geschützt sind und dass die Daten nicht oder nur für vorgesehene Zwecke (z.B. die Analyse) an Dritte weitergegeben werden. Der Hersteller muss also den Schutz der Daten (IT-Sicherheit) und der Privatsphäre gewährleisten und vertraglich garantieren.

Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, dass der Hersteller auf der Basis der übermittelten Daten viel verlässlichere Diagnosen und Prognosen als der Betreiber der Anlage stellen kann, weil die Berechnungsmodelle (Real-Time Diagnose bzw. Real-Time Analytik) des Herstellers auf einer wesentlich breiteren Datenbasis beruhen. Auch in diesem Szenario können Anforderungen wie die frühzeitige Erkennung von ungünstigen Betriebszuständen und die vorausschauende Instandhaltung (Predictive Maintenance) unterstützt werden. Ein Nachteil dieses Szenarios ist, dass die Betriebsdaten der Anlagen unterschiedlicher Hersteller in unterschiedlichen Cloud-Plattformen gespeichert werden und der Betreiber selbst keinen einheitlichen Überblick über die Gesamtheit seiner Daten hat und diese auch nur schwer in Beziehung zueinander setzen kann.

Die Anlagenhersteller knüpfen an die Sammlung und Auswertung von Betriebsdaten Geschäftsmodelle wie Remote Service Konzepte und andere After Sales Services (z.B. Ersatzteil-Lieferungen, Obsoleszenz-Management). Aber auch die Weiterentwicklung und Optimierung von neuen Anlagengenerationen kann durch die Analyse der vorliegenden Daten unterstützt werden, wovon letztlich sowohl der Anlagenhersteller als auch der Betreiber profitieren (siehe dazu auch den folgenden Anwendungsbericht „ Smart Inspection: Technologie intelligent kombiniert“ auf Seite 36).



**Abbildung 20: Remote Service Konzepte im IoT**  
(© Salzburg Research, Fotolia.com, kinwun)

## 12 Smart Inspection: Technologie intelligent kombiniert

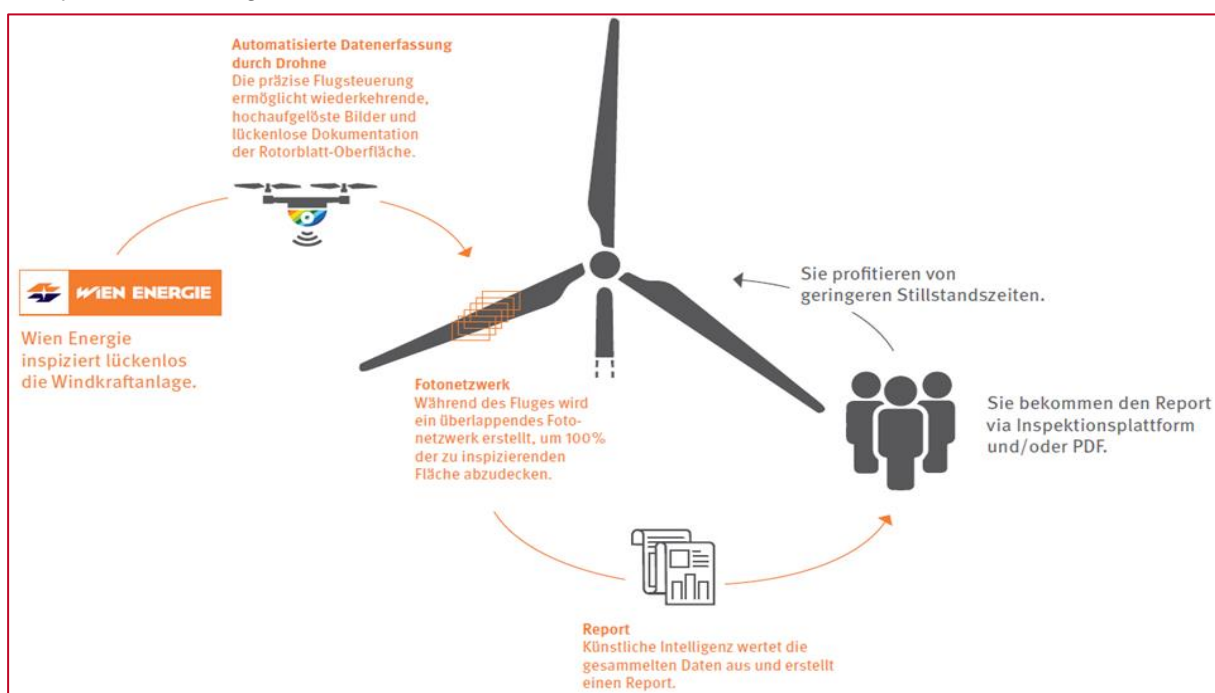
### Neue Service-Konzepte bei der Wien Energie

Patrick Enzinger, Michael Elias (Wien Energie GmbH)

*Das Projekt Smart Inspection von Österreichs größtem Energiedienstleister, der Wien Energie, zeigt die Möglichkeiten der intelligenten Verknüpfung digitaler Technologien zur Lösung bekannter Problemstellungen bei der Inspektion und Wartung von Anlagen auf. Gleichzeitig wird abseits technologischer Lösungen klar, wie fluid Geschäftsmodelle mittlerweile sind und welcher Mehrwert darin auch für etablierte Unternehmen liegt.*

#### Ausgangssituation

Smart Inspection erforscht den Wert der intelligenten Drohneninspektion für die Geschäftsprozesse der Wien Energie. Die Inspektion von Kraftwerksanlagen gestaltet sich oft schwierig und langwierig mit teils kostspieligen Stillstandszeiten. Durch den Einsatz von Drohnen kombiniert mit automatisierter Fehlerdetektion können unter anderem die Arbeitssicherheit erhöht und Stillstands- sowie Ausfallzeiten minimiert werden. An der Drohne befestigte hochauflösende Kameras produzieren eine große Anzahl an Bildern beziehungsweise Daten, die in der Folge analysiert und ausgewertet werden können.



**Abbildung 21: Smart Inspection bei Windkraftanlagen**  
(© Wien Energie GmbH)

Hierfür stattet ein Drohnen dienstleister seine Drohnen mit Kameras und Sensoren aus und liefert in Zusammenarbeit mit Wien Energie die Bilder bzw. Daten der Inspektionen. Daraufhin werden unter Verwendung verschiedener Algorithmen (deep neural networks) und von Supercomputern die Bilder bzw. Rohdaten auf das Nötigste reduziert. Außerdem können unter Einsatz von künstlicher Intelligenz verschiedene Defekte und Fehler automatisiert in den Bildern gefunden und gemeinsam mit Wien Energie berichtet werden.



## Ziel

Konzepterstellung zur Implementierung der intelligenten Drohneninspektionen in die Linienorganisation von Wien Energie sowie die Entwicklung eines marktreifen Dienstleistungspakets zur "Smart Inspection" für externe Kunden von Wien Energie (kommunale Infrastruktur, Industriebetriebe etc.)

## Lösungen

**Photovoltaikinspektion:** Im Bereich Inspektion von Photovoltaik-Anlagen gilt die Entwicklung als abgeschlossen. Smart Inspection wird bereits bei Wien Energie im Bereich Instandhaltung und „Predictive Maintenance“ eingesetzt. Der Prozess der automatischen Befliegung und Auswertung ist etabliert und ausgereift. Der künstliche Algorithmus wird stetig verbessert und die



Erkennung und Klassifikation von Defekten weist die erforderliche Zuverlässigkeit auf. Die Treffsicherheit des Algorithmus gilt in Anbetracht der überschaubaren Trainings-Daten als bemerkenswert. Durch die selbstständige Fehlerdetektion und Klassifikation kann eine objektive und zeitsparende Inspektion von Photovoltaik-anlagen gewährleistet werden.

**Abbildung 22: Smart Inspection bei Photovoltaikanlagen**  
(© Wien Energie GmbH)

**Fernwärmeinspektion:** Im Bereich der Inspektion von Fernwärmeleitungen konnten sehr gute Ergebnisse bei der Inspektion des Wiener Leitungsnetzes festgestellt werden. Hier wird intensiv mit den Wiener Netzen zusammengearbeitet.

**Windkraftinspektion:** Bei Windkraftanlagen werden derzeit eigene Anlagen inspiziert und beflogen und die Dienstleistung kontinuierlich verbessert. Diese Tatsache der reduzierten Inspektionszeit im Vergleich zu Industriekletterern sowie der objektiven Berichterstellung ergeben einen großen Vorteil.

**Kamininspektion:** Dieser Anwendungsfall ist in der Abschlussphase. Der entwickelte Prototyp wird getestet und adaptiert. Zusätzlich wurde eine Webplattform entwickelt, um die Industriekamine in einem 3D-Modell darzustellen. Die Software wird von Wien Energie-MitarbeiterInnen, externen Partnern sowie von Rauchfangkehrern für die Inspektion und Auswertung verwendet.

**Neue Anwendungsgebiete:** Fortlaufend werden neue Use Cases erhoben und evaluiert. Drohnen in Kombination mit bildgebenden Verfahren und der optionalen Auswertung und Klassifikation mittels künstlicher Intelligenz bieten im Bereich Zustandsüberwachung und Monitoring großes Potential.

## Nutzen

- Erhöhung der Wirtschaftlichkeit bei der Inspektion von Photovoltaik-Anlagen
- Verringerung der Inspektionskosten und Stillstandszeiten bei Windkraftanlagen und Industriekaminen
- Steigerung der Effektivität beim Suchen von Leckagen in Fernwärme-Netzen
- Analyse neuer Anwendungsgebiete (Proof of Concept, Beleuchtung der Business Cases)
- Beitrag zur Ressourcenschonung und Verringerung der CO2-Emissionen
- Schaffung und Erhaltung von hochqualifizierten Arbeitsplätzen
- Aufbau von Know-how und Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit für den Standort Wien und Österreich, Entwicklung neuer Geschäftsfelder

Beteiligte Partner	Aufgabe im Projekt	Domain/Kontakt
Wien Energie GmbH	Auftraggeber, Projektleiter	<a href="http://www.wienenergie.at">www.wienenergie.at</a>
Skyability GmbH	Drohnendienstleister	<a href="http://www.skyability.com">www.skyability.com</a>
Birds.ai B.V.	Artificial Intelligence	<a href="http://www.birds.ai">www.birds.ai</a>
Projektstart:	Im Rahmen der Innovation Challenge 2017 (Mai 2017)	
Projektende:	Dezember 2018	

## 13 Welche Kompetenzen braucht Instandhaltung 4.0?

### Datenkompetenz als neue Herausforderung

Jutta Isopp (Messfeld GmbH), Georg Güntner (Salzburg Research)

*Welche Fähigkeiten, Fertigkeiten, Kenntnisse und Kompetenzen werden zukünftig von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern im Instandhaltungsbereich von Industrieunternehmen erwartet, um fit für Industrie 4.0 zu sein? Ein im Forschungsprojekt i-Maintenance entwickeltes Kompetenz- und Qualifikationsmodell bietet einen Leitfaden für die Qualifizierung in der Instandhaltung 4.0.*

Mit Industrie 4.0 und der damit verbundenen Digitalisierung schwappt eine Welle von neuen Technologien in die Shop Floors der Fertigungsindustrie: Datenbrillen, Drohnen, 3D-Druck, Data Analytics, Predictive Maintenance, Augmented und Virtual Reality, IoT-Technologien und cyberphysische Systeme (digitale Zwillinge) versprechen – wenn man den Anbietern Glauben schenken darf – eine Erhöhung der Effizienz und bergen disruptives Potenzial für die traditionellen Geschäftsmodelle der Instandhaltung.

### Fertigkeit, Kenntnisse und Fähigkeiten

Tatsächlich bietet die Digitalisierung für die Unternehmen eine Chance zur Weiterentwicklung und Optimierung ihrer Produktions- und Instandhaltungsprozesse. Als ein entscheidender Faktor für die erfolgreiche Gestaltung des digitalen Wandels erweisen sich dabei die Kompetenzen der handelnden Personen. Abhängig vom Reifegrad der Digitalisierung sind unterschiedliche Kompetenzen notwendig. Wobei Kompetenzen als Zusammenfassung der Fertigkeit, Kenntnisse und Fähigkeiten zu verstehen sind. (vgl. Abbildung 23)

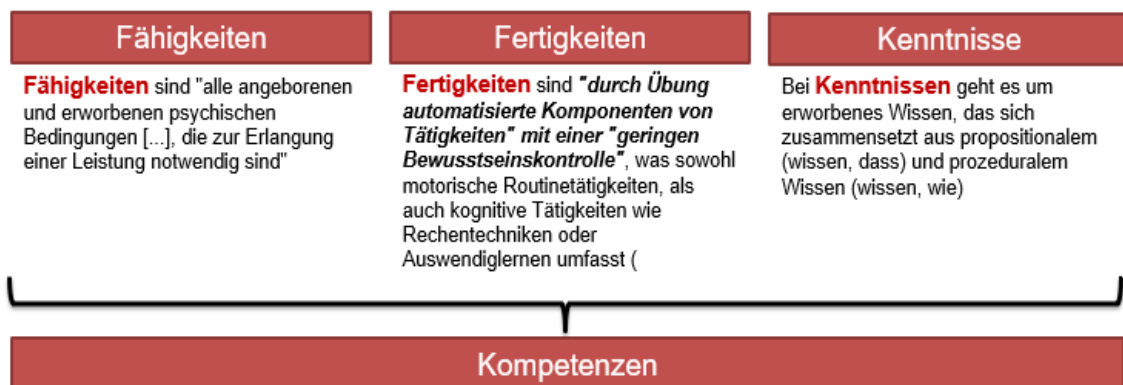


Abbildung 23: Darstellung Kompetenzen

Die Herausforderungen im Bereich der Digitalisierung und der damit verbundenen Kompetenzen liegen in der sinnvollen Nutzung von Daten bzw. in der Überführung von Daten in nutzbaren Informationen und der daraus abzuleitenden Entscheidungen (siehe dazu Beitrag „Digitalisierung ohne Software“ auf Seite 12). Aus technischer Sicht sind die Erzeugung, Speicherung und Verwaltung der Daten grundsätzlich gelöst, allerdings mangelt es in den Unternehmen an Kenntnissen, Fertigkeiten und Fähigkeiten für die Datenaufbereitung und -analyse.

### Datenkompetenz im Spannungsfeld von Mensch, Technik und Organisation

Mitunter entsteht der Eindruck, die Digitalisierung sei in erster Linie eine Frage der Technologien, doch in der Praxis sind Unternehmen gut beraten, sämtliche Entscheidungen in Hinblick auf die Digitalisierung und die Nutzung der vorhandenen Daten im Spannungsfeld zwischen

Organisation, Technik und Mensch zu treffen. Die vorhandene Organisation und das Zusammenspiel mit den handelnden Personen ist ebenso wichtig wie rein technische Lösungsansätze. Maßnahmen sind unter Berücksichtigung des digitalen Reifegrades zu treffen (siehe dazu den Beitrag „Fit für Instandhaltung 4.0?“ auf Seite 7).

Um die Qualifizierungsmaßnahmen und die Entwicklung der Kompetenzen zu systematisieren, wurde im Rahmen des Forschungsprojektes i-Maintenance ein Qualifizierungsmodell entwickelt, das ausgehend vom „digitalen Reifegrad“ des Personals passende Qualifizierungsmaßnahmen vorschlägt. Wie in Abbildung 24 gezeigt, erfolgt die Klassifikation des digitalen Reifegrads in einer fünfstufigen Skala, die bis zum „Experten-Status“ reicht. Die Einstufung erfolgt mittels eines Fragebogens innerhalb des Teams, wobei die befragten Personen aus unterschiedlichen Abteilungen (Instandhaltung, Produktion, aber auch IT) kommen sollen, zusätzlich wird angestrebt die Sicht von außen durch eine neutrale Fremdeinschätzung zu erhalten.

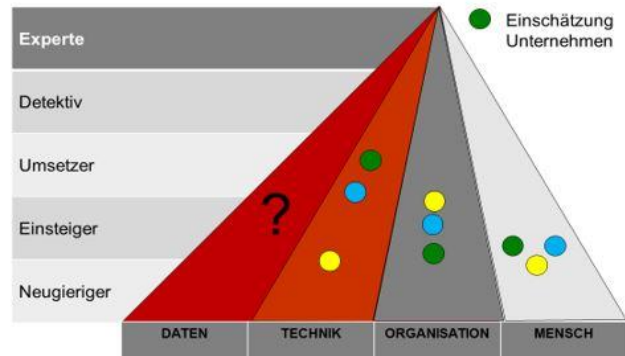


Abbildung 24: Beispielhafter Vergleich d. Einschätzung aus unterschiedlichen Blickwinkeln

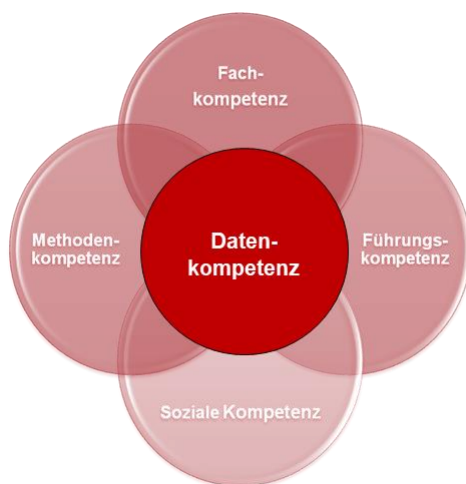


Abbildung 25: Schlüsselfaktor Datenkompetenz

Im i-Maintenance Qualifizierungsmodell tritt aus praktischen Gründen neben die klassischen Dimensionen Fach-, Führungs-, Methoden- und sozialer Kompetenz eine zusätzliche Dimension, die der Digitalisierung und den dort vorherrschenden Datenzentriertheit Rechnung trägt: die Daten bzw. die „**Datenkompetenz**“. Diese ist nicht als eigenes Feld zu sehen, sondern bildet die Schnittmenge aus Fach-, Führungs-, Methoden- und sozialer Kompetenz. Die Kernkompetenzen des Instandhaltungspersonals wurden im Rahmen der Entwicklung des Ausbildungskonzeptes zur Trainingsakademie für Instandhaltung und Produktion in Anlehnung an die EN 15628 ([EN15628]) beschrieben. Lennart Brumby u.a. leiteten daraus einen auf der EN 15628 basierenden

Qualifizierungsleitfaden für die Instandhaltung ab, in dem digitale bzw. Datenkompetenzen jedoch noch nicht gesondert berücksichtigt werden ([Brumby2015]).

Die Betrachtung der Entwicklung einzelner Kompetenzfelder zeigt eine deutliche Verschiebung in den einzelnen Dimensionen. So wird zukünftig erwartet, dass alte bis dato wichtige Kompetenzen in dieser Form nicht mehr benötigt werden, dafür aber Kompetenzen für den Umgang mit neuen Technologien notwendig werden (vgl. [acatech2016]).

Daraus resultiert ein besonderer Bedarf in Hinblick auf Kompetenzen im Bereich der Datenauswertungen und Datenanalyse, kombiniert mit einem hohen Wissen aus dem Bereich der IT. Derzeit sind diese Kompetenzen in den Unternehmen erst bedingt vorhanden.



## 14 Strategisches Vorgehen als Erfolgsfaktor

### Am Weg zur digitalen Asset und Maintenance Management Strategie

Andreas Dankl, Harald Klimes (dankl+partner consulting gmbh)

*Asset Management (Anlagenwirtschaft) umfasst den ganzheitlichen Blick auf Anlagen in produzierenden Unternehmen. Wie kann eine strategische Vorgehensweise in Zeiten zunehmender Digitalisierung und vernetzter Systeme aussehen und worin liegt ihr Wert für das Unternehmen?*

#### 14.1 Nutzen und Notwendigkeit strategisch ausgerichteter Technik-Bereiche

**Asset Management** (Anlagenwirtschaft) umfasst alle **systematischen und koordinierten Aktivitäten zur Optimierung des Ertrages**, aber auch für die Erfüllung der relevanten Anlagen-Anforderungen zum Beispiel an Qualität, Sicherheit, Gesundheit und Umweltschutz (QSGU). Daraus abgeleitet ergibt sich die **Maintenance Management Strategie**, also langfristig orientierte Konzepte und Maßnahmen, die eine auf Effektivität (= Wirksamkeit) und Effizienz (= Wirtschaftlichkeit) ausgerichtete, systematische Weiterentwicklung der Instandhaltungsorganisation ermöglichen sollen. Die nachhaltige, wertbasierte Erhaltung und Verbesserung der technischen Einrichtungen eines Betriebes, sowie die bedarfskonforme Ausrichtung und Weiterentwicklung der Instandhaltungsorganisation, der angewendeten Strategien und Methoden muss sicherstellt sein.

Die Asset- und Maintenance Management-Strategie leitet sich aus den Unternehmenszielen sowie den Anforderungen der Produktion bzw. Anlagen-Nutzern und aus Gesetzen, Verordnungen und Richtlinien ab. **Die Anlagen-Ziele sollen unter Erfüllung aller betriebsrelevanten Anforderungen und Vorgaben zu optimalen Kosten erreicht werden.**

Unternehmen mit integrierten Asset Management-Mechanismen orientieren Ihre Anlagenbezogenen Entscheidungen an Lebenszykluskosten und dem strategischen Anlagenentwicklungsplan ("Werden sich die Rahmenbedingungen und Anforderungen verändern?"), nicht an reinen Anschaffungskosten. Im Zentrum steht die Frage, wie sich der zukünftige Bedarf der Produktion entwickelt (siehe Abbildung 26).




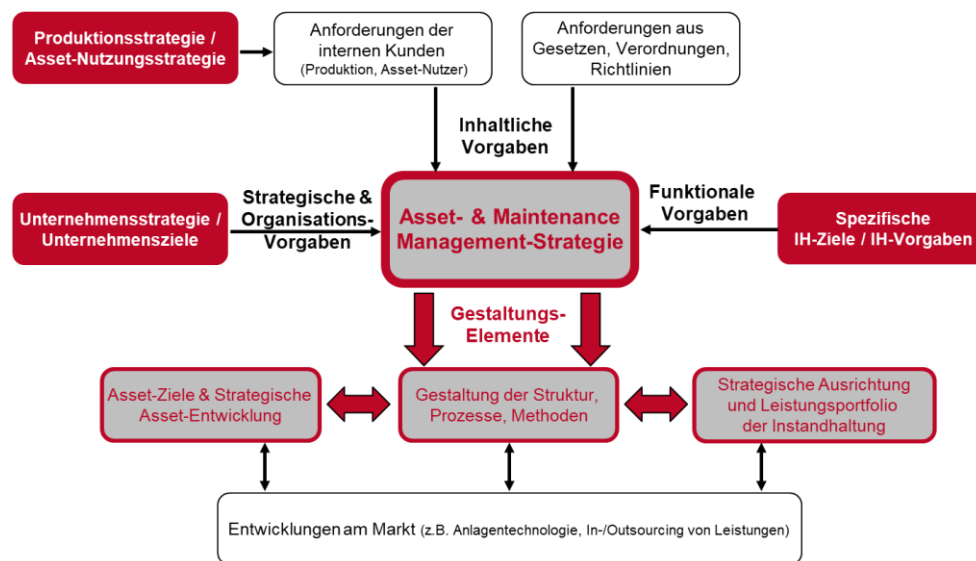
Abbildung 26: Vorgehenssystematik Asset Management-Strategie

**Wozu das alles?** Bei einer durchschnittlichen Betriebsdauer von Anlagen in der chemischen Industrie von 50 bis 60 Jahren (das Zwei- bis Dreifache der technischen Lebensdauer) ist der Anlagenbetrieb als längste Life Cycle-Phase von zentraler Bedeutung. So haben Analysen in der Chemieindustrie gezeigt, dass die laufenden Betriebskosten (inkl. Instandhaltungs- und Optimierungskosten) ca. dreimal bis fünfmal höher sind als die Investitionskosten.

**Moderne Instandhaltungsorganisationen sind nicht Kostenfaktor, sondern strategische Partner** im Unternehmen. Auf Grundlage der aus der Unternehmensstrategie abgeleiteten Asset Management Strategie resultiert die Maintenance-Management-Strategie.

## 14.2 Eine einmalige Chance für produzierende Unternehmen

Im Forschungsprojekt i-Maintenance wurden Arbeitsunterlagen und Entscheidungshilfen zur praktikablen Festlegung der **Asset und Maintenance Management Strategie (AMM-Strategie)** erarbeitet bzw. finalisiert. Die Erfahrungen in den Pilotprojekten (z.B. bei Projektpartner Wien Energie (siehe dazu Beitrag „ Asset Management am Prüfstand“ auf Seite 10) zeigen, dass sich die Unterlagen und Vorgehensweise in der Praxis bewährt haben.



Quelle: dankl+partner consulting gmbh / MCP Deutschland GmbH

**Abbildung 27: Einflussgrößen und Gestaltungselemente der AMM-Strategie**

Eine ausgearbeitete AMM-Strategie ist eine für den Betrieb einmalig erstellte und in weiterer Folge jährlich zu aktualisierende Planungsunterlage dar.

**Die AMM-Strategie schafft folgende Möglichkeiten:**

- Zielbeschreibung zur Bewirtschaftung und Weiterentwicklung der Anlagen
- Entscheidungsgrundlage für Entwicklungskonzepte bzw. -maßnahmen
- Grundlagen für die Kommunikation Richtung Geschäftsführung und anderen Abteilungen/Partnern

**Die entwickelten Arbeitsunterlagen und Entscheidungshilfen bieten:**

- hohe **Praktikabilität** (Vollständigkeit, Verständlichkeit und Anwendbarkeit)
- hohe **Transparenz** bei allen inhaltlichen Einschätzungen und quantitativen Bewertungen, die von den Teilnehmern akzeptiert werden können.
- Schriftliche, **zielgerichtete Handlungsanleitungen** bzw. konkrete **Optimierungsansätze**

Die Erkenntnisse aus der Asset Management und Maintenance Management Strategie bilden die Grundlage für viele weiteren Themenfelder der Digitalisierung - etwa den Einsatz von Software (siehe dazu Beitrag „Digitalisierung ohne Software“ auf Seite 12 und Beitrag „Predictive Maintenance“ auf Seite 19), die Mitarbeiterqualifizierung (siehe dazu Beitrag „Welche Kompetenzen braucht Instandhaltung 4.0?“ auf Seite 39), u.v.m.

## Anhang A: Referenzen

### Literaturverzeichnis

- [acatech2015] acatech (Hrsg.): „Smart Maintenance für Smart Factories – Mit intelligenter Instandhaltung die Industrie 4.0 vorantreiben“. acatech POSITION; Deutsche Akademie für Technikwissenschaften, Oktober 2015.
- [acatech2016] acatech (Hrsg.): „Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0 - Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen“. acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften in Kooperation mit Fraunhofer IML und equeo, Deutschland, 2016.
- [Bied2016] Biedermann, Hubert (2016), "Lean Smart Maintenance", in Biedermann, Hubert (ed): "Industrial Engineering und Management: Beiträge des Techno-Ökonomie-Forums der TU Austria", S. 119 - 141, Springer Fachmedien, Wiesbaden, ISBN 978-3-658-12097-9, DOI 10.1007/978-3-658-12097-9\_7, 2016.
- [BMW2016] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Plattform Industrie 4.0 (Herausgeber): „Ergebnispapier: Struktur der Verwaltungsschale - Fortentwicklung des Referenzmodells für die Industrie 4.0-Komponente“ (2018). Online: [bit.ly/2LTOvWW](http://bit.ly/2LTOvWW)
- [Brumby2015] Lennart Brumby, David Merbecks, Jens Reichel, Heiko Schultz: „Leitfaden Qualifizierung in der Instandhaltung“. Verlag: Beuth. Reihe: VDI-Praxis. ISBN: 978-3-410-25715-8, 2015
- [Deska2016] Beate Deska, Karsten Höft, Holger Schneider: „Digitale Wartung und Instandhaltung - Grundlagen und Anwendungsbeispiele“. Praxisbroschüre der Mittelstand 4.0 Agentur Prozesse. 2016. Online: [www.mittelstand-digital.de/MD/Redaktion/DE/Publikationen/ag-prozesse-digitale-wartung-und-instandhaltung.html](http://www.mittelstand-digital.de/MD/Redaktion/DE/Publikationen/ag-prozesse-digitale-wartung-und-instandhaltung.html)
- [DIN91345-2016] DIN SPEC 91345:2016-04 "Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0)"
- [EN15628] DIN EN 15628:2014-10 bzw. ÖNORM EN 15628: 2014 12 15: „Instandhaltung - Qualifikation des Instandhaltungspersonals“, 2014
- [Gartner2017] Gartner Inc. (Christy Pettey): „Prepare for the Impact of Digital Twins“ (2017). Online: [www.gartner.com/smarterwithgartner/prepare-for-the-impact-of-digital-twins/](http://www.gartner.com/smarterwithgartner/prepare-for-the-impact-of-digital-twins/)
- [Guen2014a] Georg Güntner, Robert Eckhoff, Jutta Isopp, Günter Loidl, Mark Markus: „Bedürfnisse, Anforderungen und Trends in der Instandhaltung 4.0“ - <http://bit.ly/1zvOWxS>, Oktober 2014.
- [Guen2014b] Georg Güntner, Robert Eckhoff, Jutta Isopp, Günter Loidl, Mark Markus: „Instandhaltung 4.0 - Chancen und Herausforderungen für die Instandhaltung im vierten industriellen Zeitalter“. In: Tagungsband des 10. Aachener Kolloquium für Instandhaltung, Diagnose und Anlagenüberwachung (AKIDA), Aachen, 2014.
- [Guen2015b] Georg Güntner, Mark Markus: „Instandhaltung 4.0: Entwicklungsszenarien und Handlungsempfehlungen“ - [bit.ly/1Ot2Rbf](http://bit.ly/1Ot2Rbf), Januar 2015.
- [Guen2015c] Georg Güntner, Michael Benisch, Andreas Dankl, Jutta Isopp (Hrsg.): „Roadmap der Instandhaltung 4.0“ - [bit.ly/1IFGJfu](http://bit.ly/1IFGJfu), Mai 2015.

- [Guen2015d] Georg Güntner, Mark Markus, Andreas Dankl, Jutta Isopp: "Instandhaltung 4.0: Entwicklungsszenarien und Handlungsempfehlungen". In: Jahrbuch Instandhaltungstage 2015, S. 15-27. Leykam Buchverlag. ISBN 978-3-7011-7969-5. Graz, April 2015.
- [Guen2015e] Georg Güntner, Mark Markus, Andreas Dankl, Jutta Isopp: "Instandhaltung 4.0: Der Mensch als zentraler Erfolgsfaktor". In: Jahrbuch Instandhaltungstage 2015, S. 8-14. Leykam Buchverlag. ISBN 978-3-7011-7969-5. Graz, April 2015.
- [Guen2018a] Georg Güntner: „Instandhaltung im Internet der Dinge“. White Paper des Projekts i-Maintenance. – [srfg.at/i-maintenance](http://srfg.at/i-maintenance), Dez. 2018.
- [Han2018a] Hannover-Messe: „Die IoT-Industrie geschieht doppelt“ (2018). Online: [www.hannovermesse.de/de/news/die-iot-industrie-geschieht-doppelt-64456.xhtml](http://www.hannovermesse.de/de/news/die-iot-industrie-geschieht-doppelt-64456.xhtml)
- [Han2018b] Hannover-Messe: „Auf ewig verbunden“ (2018). Online: [www.hannovermesse.de/de/news/top-themen/digital-twin/](http://www.hannovermesse.de/de/news/top-themen/digital-twin/)
- [Spring2017] Springer Gabler Verlag (Herausgeber), Gabler Wirtschaftslexikon: „Digitaler Zwilling“ (2017). Online: [wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/digitaler-zwilling-54371/version-189152](http://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/digitaler-zwilling-54371/version-189152)
- [Wiki2018] Wikipedia: "Digital Twin" (2018). Online: [en.wikipedia.org/wiki/Digital\\_Twins](http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Twins)

## Fachmedien

- Austromatisierung | Alexander Verlag GmbH | [www.austromatisierung.at](http://www.austromatisierung.at)
- B&I Betriebstechnik und Instandhaltung | Wolff Publishing | [www.b-und-i.de](http://www.b-und-i.de)
- Factory | WEKA Industrie Medien GmbH | [factorynet.at](http://factorynet.at)
- Instandhaltung | verlag moderne industrie GmbH | [www.instandhaltung.de](http://www.instandhaltung.de)
- MM Maschinenmarkt | Technik & Medien Verlagsgmbh | [www.maschinenmarkt.at](http://www.maschinenmarkt.at)

## Weiters erschienen



### Whitepaper IoT-Technologien in der Instandhaltung

Herausgegeben von Georg Güntner.

Erschienen im Rahmen des Forschungsprojektes i-Maintenance im Jahr 2018. Das Projekt i-Maintenance wird gefördert vom österreichischen Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (BMWFW) sowie der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) im Rahmen des Programms COIN.

Frei verfügbar auf [www.maintenance-competence-center.at](http://www.maintenance-competence-center.at)



### Roadmap der Instandhaltung 4.0

Herausgegeben von Georg Güntner, Michael Benisch, Andreas Dankl, Jutta Isopp.

Erschienen im Rahmen des Forschungsprojektes Instandhaltung 4.0 im Jahr 2015. Das Projekt wurde gefördert vom österreichischen Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) sowie der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) im Rahmen des Programms "Produktion der Zukunft".

Frei verfügbar auf [www.maintenance-competence-center.at](http://www.maintenance-competence-center.at)



### Handlungsempfehlungen zur digitalen Transformation durch Industrie 4.0 und neue Geschäftsmodelle

Autoren: Markus Lassnig, Petra Stabauer, Georg Güntner, Gert Breitfuß, Katrin Mauthner, Michael Stummer, Michael Freiler, Andreas Meilinger

Erschienen als Band 4 der Studie im Auftrag des österreichischen Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) sowie der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) im Rahmen des Programms "Produktion der Zukunft". Salzburg / Wien im Jahr 2017.

Frei verfügbar auf <https://srfg.at/i40-transform>

## Anhang B: Netzwerke für Digitalisierung

Fachveranstaltungen | Konferenzen | Messen 



### Aktive Fach-Netzwerke

Digitaler Mittelstand - KMU4.0  
[www.kmu40.eu](http://www.kmu40.eu)

Digitales Transfer Zentrum Salzburg  
[www.dtz-salzburg.at](http://www.dtz-salzburg.at)

EFNMS - European Federation of Maintenance Societies  
[www.efnms.eu](http://www.efnms.eu)

fmpro Schweizerischer Verband für Facility Management und Maintenance  
[fmpro-swiss.ch](http://fmpro-swiss.ch)

FVI Forum Vision Instandhaltung e.V.  
[www.ipih.de](http://www.ipih.de)

GFIN – Gesellschaft für Instandhaltung  
[www.gfin.de](http://www.gfin.de)

IoT Austria  
[www.iot-austria.at](http://www.iot-austria.at)

IoT-Group Salzburg  
[www.meetup.com/IoT-Salzburg/](http://www.meetup.com/IoT-Salzburg/)

MCC – Maintenance Competence Center  
[www.maintenance-competence-center.at](http://www.maintenance-competence-center.at)

Mechatronik-Cluster Business Upper Austria - OÖ Wirtschaftsagentur GmbH  
[www.mechatronik-cluster.at](http://www.mechatronik-cluster.at)

MFA – Maintenance and Facility Management Society of Austria  
[www.mf-austria.at](http://www.mf-austria.at)

Mittelstand Digital  
[www.mittelstand-digital.de](http://www.mittelstand-digital.de)

ÖVIA - Österreichischen Vereinigung für Instandhaltung und Anlagenwirtschaft  
[www.oevia.at](http://www.oevia.at)

WVIS - Wirtschaftsverband für Industrieservice e.V.  
[www.wvis.eu](http://www.wvis.eu)



## Anhang C: Projektfakten

### Maintenance Innovation (i-Maintenance)



#### Innovationsnetzwerk i-Maintenance

- **Projektpartner:**  
Salzburg Research Forschungsgesellschaft m.b.H., dankl+partner consulting gmbh, H&H Systems Software-Entwicklungs- und Vertriebs-GmbH, IPN Intelligent Predictive Networks GmbH, Messfeld GmbH, Schlotterer Sonnenschutz Systeme GmbH, Wien Energie GmbH
- **Laufzeit:** von 11/2016 bis 10/2018
- **Umfang:** € 800.000,- (gefördert mit Mitteln des BMWFW und der FFG im Programm COIN)
- **Information:** [www.maintenance-competence-center.at/i-maintenance](http://www.maintenance-competence-center.at/i-maintenance)
- **Kontakt:** [i-maintenance@maintenance-competence-center.at](mailto:i-maintenance@maintenance-competence-center.at)

i-Maintenance entwickelt einen praktischen Werkzeugkoffer, mit dessen Hilfe produzierende Unternehmen die Herausforderungen der digitalen Transformation in der Instandhaltung meistern können.

### MCC - Maintenance Competence Center



#### Ihr Service Center für zukunftsorientierte Instandhaltung

Das MCC Maintenance Competence Center koordiniert und initiiert anwendungsorientierte Forschung, Entwicklung, Innovation und Qualifikation im Bereich der Instandhaltung. Organisatorische und technologische Aspekte stehen ebenso im Fokus, wie der Faktor Mensch und die veränderten Kompetenzanforderungen in der vernetzten Fabrik.

- **Gründungspartner:**  
Salzburg Research Forschungsgesellschaft m.b.H., dankl+partner consulting gmbh, Messfeld GmbH
- **Partner des MCC:** (Stand Oktober 2018)  
ATOMIC, BARCOTEC, Campus 02, Duale Hochschule Baden-Württemberg Mannheim, endiio, GIS Systemtechnik, Hansford Sensors, H&H Systems, Joanneum Research, Kapsch BusinessCom, LakeSide Labs, Orianda Solutions, Oxando, SCCH Software Competence Center Hagenberg, Schaeffler Austria, Schlotterer Sonnenschutz Systeme, SIEMENS AG Österreich, Ing. Friedrich Szukitsch EDV-Dienstleistungen, TECHNODAT, Testify, Weidmüller, Wien Energie, u.a.
- **Information:**  
[www.maintenance-competence-center.at](http://www.maintenance-competence-center.at)
- **Kontakt:**  
[office@maintenance-competence-center.at](mailto:office@maintenance-competence-center.at)

Das MCC unterstützt Sie mit der gebündelten Kompetenz erfahrener Instandhaltungs-Praktiker und Experten aus den Bereichen Forschung und Industrial Internet auf Ihrem Weg zur exzellenten, zukunftsorientierten Instandhaltung 4.0. Weiters finden Sie für sich und Ihre Mitarbeiter die perfekten Qualifizierungsmöglichkeiten.

Interessierte Unternehmen sind herzlich eingeladen, sich ein Bild zu machen und im MCC mitzuwirken!

## Anhang D: Autorinnen & Autoren

### HerausgeberInnen



Georg Güntner ist Leiter des Kompetenzzschwerpunkts „Industrial Internet“ bei der Salzburg Research Forschungsgesellschaft, einem unabhängigen Forschungsinstitut mit dem Schwerpunkt Informationstechnologien (IT) mit Sitz in Salzburg. Die Schwerpunkte seiner Arbeit liegen im Bereich der Begleit- und Akzeptanzforschung von Internet-Technologien und des Internets der Dinge in Produktions- und Instandhaltungsunternehmen. Er koordiniert das "**Maintenance Competence Center**" und die **IoT-Gruppe Salzburg**.



Lydia Höller leitet die Unternehmenskommunikation des auf Instandhaltung und Asset Management spezialisierten Beratungsnetzwerk dankl+partner consulting | MCP Deutschland. Sie engagiert sich im **Netzwerk für Instandhaltung**, der **MFA**, und verantwortet Forschungs- und Qualifizierungsprojekte im Maintenance Competence Center und der **Trainingsakademie für Instandhaltung und Produktion**. Die Branchentreffpunkte Instandhaltungstage und Instandhaltungskonferenz werden von Lydia Höller mitorganisiert.

Wir freuen uns über Feedback, Kritik, Anregungen und Ihre Nachfragen an [office@maintenance-competence-center.at](mailto:office@maintenance-competence-center.at).

### Autorinnen und Autoren

Wir bedanken uns bei den folgenden Personen für ihre Beiträge:

Autorin / Autor	Organisation	Kontakt
DI Dr. Andreas Dankl	dankl+partner consulting gmbh, MCP Deutschland GmbH	<a href="mailto:a.dankl@dankl.com">a.dankl@dankl.com</a> <a href="http://www.mcp-dankl.com">www.mcp-dankl.com</a>
Michael Elias	Wien Energie GmbH	<a href="mailto:michael.elias@wienenergie.at">michael.elias@wienenergie.at</a> <a href="http://www.wienenergie.at">www.wienenergie.at</a>
Ing. Patrick Enzinger, BSc.	Wien Energie GmbH	<a href="mailto:patrick.enzinger@wienenergie.at">patrick.enzinger@wienenergie.at</a> <a href="http://www.wienenergie.at">www.wienenergie.at</a>
DI(FH) Dietmar Glachs	Salzburg Research Forschungsges.m.b.H.	<a href="mailto:dietmar.glachs@salzburgresearch.at">dietmar.glachs@salzburgresearch.at</a> <a href="http://www.salzburgresearch.at">www.salzburgresearch.at</a>
DI Georg Güntner	Salzburg Research Forschungsges.m.b.H.	<a href="mailto:georg.guentner@salzburgresearch.at">georg.guentner@salzburgresearch.at</a> <a href="http://www.salzburgresearch.at">www.salzburgresearch.at</a>
Mag. Oliver Hofbauer	H&H Systems Software GmbH	<a href="mailto:o.hofbauer@ispro-ng.at">o.hofbauer@ispro-ng.at</a> <a href="http://www.ispro-ng.at">www.ispro-ng.at</a>
Mag. Lydia Höller	dankl+partner consulting gmbh, MCP Deutschland GmbH	<a href="mailto:l.hoeller@dankl.com">l.hoeller@dankl.com</a> <a href="http://www.mcp-dankl.com">www.mcp-dankl.com</a>

Autorin / Autor	Organisation	Kontakt
Johannes Innerbichler, MSc.	Salzburg Research Forschungsges.m.b.H.	johannes.innerbichler@salzburgresearch.at www.salzburgresearch.at
DI Jutta Isopp	Messfeld GmbH	jutta.isopp@messfeld.com www.messfeld.com
DI (FH) Harald Klimes	dankl+partner consulting gmbh, MCP Deutschland GmbH	h.klimes@dankl.com www.mcp-dankl.com
DI Arno Sam	Wien Energie GmbH	arno.sam@wienenergie.at www.wienenergie.at
Christoph Schranz, BSc	Salzburg Research Forschungsges.m.b.H.	christoph.schranz@salzburgresearch.at www.salzburgresearch.at
DI DI(FH) Felix Strohmeier	Salzburg Research Forschungsges.m.b.H.	felix.strohmeier@salzburgresearch.at www.salzburgresearch.at
Mag. Philip Vodopiutz	IPN Intelligent Predictive Networks GmbH	philip.vodopiutz@predictive.at www.predictive.at

## Impressum

„Maintenance Innovation“ („i-Maintenance“) ist ein Kooperationsprojekt unter der Koordination von der Salzburg Research Forschungsgesellschaft m.b.H (Salzburg) mit dankl+partner consulting gmbh (Wals bei Salzburg, AT), H & H Systems Software-Entwicklungs- u. Vertriebs-GmbH (Wels), IPN Intelligent Predictive Networks GmbH (Wien), Messfeld GmbH (Klagenfurt), Schlotterer Sonnenschutz Systeme GmbH (Adnet) und Wien Energie GmbH (Wien). Das Projekt i-Maintenance wird gefördert vom österreichischen Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (BMWFW) sowie der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) im Rahmen des Programms COIN.

Titel	Die digitale Transformation der Instandhaltung
Autoren	Georg Güntner, Lydia Höller (Hrsg.)
Erscheinungsdatum	Oktober 2018
Kontakt	Salzburg Research Forschungsgesellschaft m.b.H. Herr DI Georg Güntner Jakob Haringer Straße 5/3   5020 Salzburg   Austria T +43-662-2288-401   <a href="mailto:georg.guentner@salzburgresearch.at">georg.guentner@salzburgresearch.at</a>
Copyright	Projektkonsortium i-Maintenance, November 2018 p.a. Salzburg Research Forschungsgesellschaft m.b.H. Jakob Haringer Straße 5/3   5020 Salzburg   Austria T +43-662-2288-401   <a href="mailto:i-maintenance@salzburgresearch.at">i-maintenance@salzburgresearch.at</a>
WWW	<a href="http://www.maintenance-competence-center.at/i-maintenance">www.maintenance-competence-center.at/i-maintenance</a>
	<a href="mailto:i-maintenance@salzburgresearch.at">i-maintenance@salzburgresearch.at</a>



## Verwendete Fotos und Grafiken

- © dankl+partner consulting gmbh
- © IPN Intelligent Predictive Networks GmbH
- © Messfeld GmbH
- © Salzburg Research Forschungsgesellschaft m.b.H.
- © Salzburg Research, Fotolia.com (Gorodenkoff, zapp2photo, kinwun, ekkasit919)
- © TGW Logistics Group
- © Wien Energie GmbH