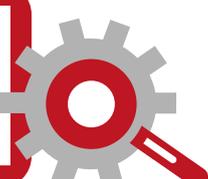


Roadmap der **INSTANDHALTUNG 4.0**



Herausgeber:
Georg Güntner
Michael Benisch
Andreas Dankl
Jutta Isopp



<http://instandhaltung40.salzburgresearch.at/>
instandhaltung40@salzburgresearch.at

Projektkonsortium



Die Sondierungsmaßnahme „Instandhaltung 4.0“ wird durch das österreichische Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit) und die österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) im Rahmen der FTI-Initiative „Produktion der Zukunft“ gefördert.

INSTANDHALTUNG 4.0

Georg Güntner, Michael Benisch, Andreas Dankl, Jutta Isopp (Hrsg.)

Forschungs- und Entwicklungs-Roadmap der Instandhaltung 4.0



Das von der österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) und vom österreichischen Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit) geförderte Sondierungsprojekt „Instandhaltung 4.0“ startete im Februar 2014 mit dem Ziel, die Auswirkungen der vierten industriellen Revolution auf den Instandhaltungssektor zu untersuchen und eine Roadmap für die Instandhaltung der Zukunft zu entwickeln. Die Ergebnisse stellen einen strategischen Beitrag zu den österreichischen Aktivitäten rund um „Industrie 4.0“ dar.

In der ersten Phase des Projekts (Februar bis Oktober 2014) beschäftigte sich das Projektteam mit der Analyse der Bedürfnisse, Anforderungen und Trends in der Instandhaltung. In der zweiten Phase des Projekts (November 2014 bis Januar 2015) wurden die Kernaussagen der

Analysephase als Ausgangspunkt für die Entwicklungen von Szenarien für die Instandhaltung der Zukunft herangezogen. Der vorliegende Abschlussbericht fasst die Ergebnisse dieser Untersuchungen zusammen und stellt die Forschungs- und Entwicklungs-Roadmap für die Instandhaltung der Zukunft vor. Er beinhaltet ein Technologie- und Forschungsradar für die Instandhaltung mit Fokus auf Informations-Integration.

Der Bericht wurde von Salzburg Research Forschungsgesellschaft in Kooperation mit Bilfinger Chemserv GmbH, dankl+partner consulting gmbh und Messfeld GmbH erstellt. Die Herausgeber des Berichts sind Mitglieder des Projektmanagement-Teams von „Instandhaltung 4.0“ und vertreten ihre Organisationen als Konsortialpartner im Steuerungsgremium. Die Ergebnisse basieren auf Befragungen und Interviews mit einer Reihe von nationalen und internationalen ExpertInnen aus dem Instandhaltungssektor, sowie aus der Produktions- und Automatisierungstechnologie.

Wir bedanken uns an dieser Stelle herzlich bei allen, die zur „Roadmap der Instandhaltung 4.0“ beigetragen haben.



© Bilfinger Chemserv

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Instandhaltung 4.0: Stand und Ausblick	7
2.1	Szenarien der Instandhaltung 4.0.....	9
2.1.1	Szenarien im Themenbereich „Menschen und Kompetenzen“.....	9
2.1.2	Szenarien im Themenbereich „Umsetzung von Instandhaltung 4.0“	10
2.1.3	Szenarien im Themenbereich „Daten als strategische Ressource“	11
2.1.4	Szenarien im Themenbereich „Innerbetrieblicher Wert der Instandhaltung“	12
2.2	Spannungsfeld Mensch – Organisation – Technik.....	13
2.3	Spannungsfeld Engineering – Betrieb – Instandhaltung	15
2.4	Paradigmenwechsel	19
2.5	Roadmap	23
2.5.1	Handlungsfelder	23
2.5.2	Forschungs- und Entwicklungsfragen.....	24
3	Technologie-Radar	28
3.1	Im Dickicht der Standards	28
3.1.1	Einführung.....	28
3.1.2	Automatisierungsprotokolle und -Standards	28
3.1.3	AutomationML	30
3.1.4	OPC Unified Architecture (OPC UA).....	31
3.2	Internet of Things (IoT).....	32
3.2.1	Einführung.....	32
3.2.2	IoT und Analytik: eine starke Symbiose.....	33
3.2.3	IoT-A – eine Referenz-Architektur für das IoT	34
3.3	Semantische Technologien	35
3.3.1	Einführung.....	36
3.3.2	Das Semantic Web als Vorbild	36
3.3.3	Linked Data	37
3.3.4	Semantic Sensor Network Ontology	38
4	Forschungs-Radar	40
4.1	Blick auf die Forschungslandkarte.....	40
4.1.1	Thematische Programme	40
4.1.2	Kompetenzzentren (COMET)	40
4.1.3	Zukunftsprojekt Industrie 4.0	40
4.1.4	Europäisches Rahmenprogramm: Horizon 2020	41
4.2	Ausgewählte Forschungsvorhaben	42
4.2.1	ASSIST 4.0	42
4.2.2	ComVantage	43
4.2.3	IMP.....	44
4.2.4	Instandhaltung 4.0.....	46
4.2.5	PROSAM.....	47
4.2.6	Smart Maintenance	48
4.2.7	SUPREME	49
4.3	Weitere Forschungsprojekte.....	51

5	Anhang	52
5.1	Die Herausgeber	52
5.2	Berichte zur „Instandhaltung 4.0“.....	53
5.3	Die Sondierungsmaßnahme „Instandhaltung 4.0“	54
5.4	ExpertInnen und MitarbeiterInnen der Studie	55
5.5	Referenzen	57
5.6	Impressum	59

1 Einleitung

Seit 2012 kamen in Europa unter der Federführung Deutschlands strategische Diskussionen zu einer industriepolitischen Wende in Gange. Die so genannte „vierte industrielle Revolution“ leitet ein neues industrielles Zeitalter ein, welches durch die Einführung von cyberphysischen Systemen in der Produktion und in der Logistik, sowie die Anwendung des „Internets der Dinge“ (IoT - Internet of Things) und der Dienste (IoS - Internet of Services) in industriellen Prozessen gekennzeichnet ist. Den Kern der Vision von „**Industrie 4.0**“ bildet die Vernetzung zwischen Produkten, Produktionsmitteln und Prozessen mithilfe von Internet-Technologien. Dies hat Auswirkungen auf die Wertschöpfung, die Geschäftsmodelle und die Arbeitsorganisation und soll nicht nur die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie stärken, sondern auch die Bewältigung globaler Herausforderungen (wie die Ressourcen- und Energieeffizienz) unterstützen (vergl. „Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0“¹, [Kager2013], S. 18).

Unabhängig davon, unter welchem Schlagwort man den Trend zur Virtualisierung in den Produktionsunternehmen einreicht – ob dies das von General Electrics geprägte „Industrial Internet“², die europäisch geprägten „Factories of the Future“³, die „Produktion der Zukunft“⁴ oder einfach nur das „(Industrial) Internet of Things and Services“ ist: Nach der Etablierung von „Industrie 4.0“ als nationale Hightech-Strategie Deutschlands liegt es nahe, die Herausforderungen der damit verbundenen technologischen und organisatorischen Änderungen in den Kernprozessen der industriellen Wertschöpfung zu untersuchen.

Diese Aufgabe hat sich eine öffentlich geförderte österreichische Sondierungsmaßnahme mit der Bezeichnung „**Instandhaltung 4.0**“ zum Ziel gesetzt. Das Projekt geht der Frage nach, wie sich die vierte industrielle Revolution auf den Instandhaltungssektor und auf die handelnden Personen – die InstandhalterInnen auswirken wird.

Projektphasen

In der ersten Projektphase (Februar 2014 bis Oktober 2014) wurde dazu eine Analyse der **Bedürfnisse, Anforderungen und Trends in der Instandhaltung** durchgeführt. Die Ergebnisse der Trendanalyse wurden im Oktober 2014 in einem Bericht⁵ zusammengefasst und auf der Instandhaltungskonferenz im November 2014 der Fachwelt vorgestellt.

In der zweiten Phase des Projekts (November 2014 bis Januar 2015) wurden die Kernaussagen der Analysephase als Ausgangspunkt für die **Entwicklungen von Szenarien** herangezogen. Die Ergebnisse der Szenarientwicklung wurden im Januar 2015 in einem Bericht⁶ zusammengefasst und im April 2015 bei den Instandhaltungstagen 2015⁷ in Klagenfurt der Fachwelt vorgestellt.

In der abschließenden Phase des Projekts (Oktober 2014 bis April 2015) wurde die vorliegende Forschungs- und Entwicklungs-Roadmap entwickelt.



¹ Kagermann Henning, Wahlster Wolfgang, Helbig Johannes: „Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0“, Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, April 2013 - <http://bit.ly/LKITPD>

² General Electrics: Industrial Internet Blog: <https://www.gesoftware.com/industrial-internet>

³ Public-Private-Partnership „Factories of the Future“ (European Commission): <http://bit.ly/SBwtwK>

⁴ FTI-Initiative „Produktion der Zukunft“ (Österreich): <https://www.ffg.at/produktionderzukunft>

⁵ Georg Güntner, Robert Eckhoff, Mark Markus: „Bedürfnisse, Anforderungen und Trends in der Instandhaltung 4.0“ - <http://bit.ly/1zvOWxS>, Oktober 2014

⁶ Georg Güntner, Mark Markus: „Instandhaltung 4.0: Entwicklungsszenarien und Handlungsempfehlungen“ - <http://bit.ly/1Ot2Rbf>, Januar 2015

⁷ Instandhaltungstage: www.instandhaltungstage.at

Roadmap der Instandhaltung 4.0

Die vorliegenden **Roadmap** der Instandhaltung 4.0 führt zunächst eine Positionsbestimmung der Instandhaltung durch (Abschnitt 2: „Instandhaltung 4.0: Stand und Ausblick“). Ausgehend von den Szenarien für die Instandhaltung wurden dabei zwei konkrete Spannungsfelder untersucht: Einerseits wird das Spannungsfeld zwischen Mensch, Organisation und Technologie beleuchtet, andererseits wurde das Spannungsfeld zwischen AnlagenbauerInnen, AnlagenbetreiberInnen und InstandhalterInnen näher beleuchtet. Es zeichnet sich ein Paradigmenwechsel in der Instandhaltung ab - daraus wurden die Handlungsfelder, sowie Forschungs- und Entwicklungsfragen abgeleitet (Abschnitt 2.5: „Roadmap“).

Technologie- und Forschungsradar in den Abschnitten 3 und 4 zeigen aktuelle technologische und wissenschaftliche Herausforderungen in der Instandhaltung mit Fokus auf Fragen der Informations-Integration auf. Der **Anhang** (ab Seite 52) enthält Informationen zu den AutorInnen des Berichts, weitere Angaben über die Zielsetzungen der Sondierungsmaßnahme „Instandhaltung 4.0“ und über das Projektkonsortium. Weiters sind dort die Liste der involvierten ExpertInnen, Referenzen und weitere Informationsquellen angeführt.

Instandhaltung 4.0 – eine Sondierungsmaßnahme

Die offenen Fragen zu den Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die Instandhaltung waren der Ausgangspunkt für die Entwicklung einer Sondierungsmaßnahme in Österreich: In diesem öffentlich geförderten Projekt mit der Bezeichnung „Instandhaltung 4.0“ wird systematisch untersucht, wie sich der Trend zur Virtualisierung und Vernetzung auf die Prozesse, Methoden und Strategien der Instandhaltung auswirkt. Das Ergebnis ist eine Roadmap zum Thema Instandhaltung. Die Sondierungsmaßnahme wurde im Februar 2014 gestartet und endete im April 2015.

Für eine detaillierte Projektbeschreibung und die Darstellung des Projektkonsortiums verweisen wir auf den Anhang (s. Seite 53). Die Projektergebnisse sowie weitere relevante Informationen und Veröffentlichungen werden auf der Website des Projekts zur Verfügung gestellt (instandhaltung40.salzburgresearch.at).

Danksagung

Wir bedanken uns bei allen Mitwirkenden und ExpertInnen für die vielen Anregungen und spannenden Diskussionen im Projektverlauf. Ebenso bedanken wir uns beim BMVIT und bei der FFG, die das Sondierungsprojekt im Rahmen der FTI-Initiative „Produktion der Zukunft“ förderten und damit überhaupt ermöglicht haben.

Ein Projekt wie „Instandhaltung 4.0“ ist nur dann erfolgreich, wenn alle Beteiligten „wie die Zahnräder einer gut instandgehaltenen Maschine ineinandergreifen“. Das ist im Projekt in äußerst produktiver Weise gelungen. Unser Dank gilt insbesondere dem Studententeam, das die Entwicklung der vorliegenden Ergebnisse wesentlich mitgetragen und mitgestaltet hat.

Namentlich gilt unser Dank: Michael Benisch, Klaus Huber und Ulrich Wieltsch von Bilfinger Chemserv GmbH; Andreas Dankl und Lydia Höller von dankl+partner consulting gmbh, Thomas Kasper von Innovationsmanager (vormals Bilfinger Chemserv), Günter Loidl von Loidl Unternehmensberatung (vormals dankl+partner consulting); Jutta Isopp von Messfeld GmbH; sowie Robert Eckhoff und Mark Markus von Implicity OG (vormals Salzburg Research)

Georg Güntner
Projektleiter Instandhaltung 4.0
Salzburg Research Forschungsgesellschaft m.b.H.

2 Instandhaltung 4.0: Stand und Ausblick

Die Zukunftsvision der Instandhaltung 4.0 geht von einer umfassenden Digitalisierung, Überwachung und Auswertung aller Produktionsanlagen aus. Gemäß dieser Vision besteht der Kernnutzen der Instandhaltung 4.0 in einer deutlichen Reduktion der Instandhaltungskosten sowie in Wettbewerbsvorteilen durch unternehmensübergreifende Vernetzungen. Ihre Treiber sind der globale Wettbewerb, der sich im innerbetrieblichen Kostendruck niederschlägt, kleinere Losgrößen, Flexibilisierung der bzw. Just-in-Time-Produktion und die neuen technischen Möglichkeiten im Bereich der Hardware und Software.

Gegenwärtig wird die Instandhaltung jedoch innerbetrieblich immer noch weitgehend als ein Kostenfaktor gesehen. Der Wandel der Instandhaltung zum Wertschöpfungspartner vollzieht sich langsam. Erschwerend wirkt die Tatsache, dass der Nutzen einer systematischen Instandhaltung 4.0 erst mittel- und langfristig entsteht. Investierende Unternehmen müssen also länger auf die Amortisation ihrer Investitionen warten. Mit zunehmender Vernetzung von Anlagen sowie Verschmelzung von Produktion und Instandhaltung nimmt der innerbetriebliche Stellenwert der Instandhaltung zu. Manager beginnen zu verstehen, dass „Lean Production“ mit „Lean Maintenance“ eng verknüpft ist, dass beide Bereiche eng ineinander greifen und nur gemeinsam wertschöpfend tätig sein können. Auch behindern divergierende Abteilungsziele und Kommunikationsschwierigkeiten die Hervorhebung der Wichtigkeit von Lebenszyklusbetrachtungen. Ganzheitliche Ansätze wie „Total Productive Maintenance“ (TPM – vgl. Seite 21), „Total Asset Management“ (TAM – vgl. Seite 21), und „Maintenance by Design“ (vgl. Seite 19) gewinnen an Bedeutung und haben hohes Potenzial zur Bewältigung der Herausforderungen der Instandhaltung 4.0.

Industrie 4.0: Fluch oder Segen für die Instandhaltung?

Die Frage, ob Industrie 4.0 „Fluch oder Segen“ für die Instandhaltung ist, lässt sich anhand der Ergebnisse unserer Studie nicht eindeutig beantworten. Vielmehr ergibt sich ein Mix aus Chancen und Herausforderungen. Tendenziell überwiegen die Chancen im Instandhaltungsbereich:

- Die Bereiche Produktion und Instandhaltung werden durch Industrie 4.0 stärker integriert.
- Dies begünstigt einen Wandel weg vom Kostenfaktor hin zum „Wertschöpfungsfaktor Instandhaltung“
- Neue Technologien machen die Instandhaltung attraktiver und werten das Image der Instandhaltung auf.
- Vernetzte cyber-physische Produktionssysteme unterstützen fortschrittliche Instandhaltungsstrategien wie die zustandsorientierte und vorausschauende Instandhaltung (auch in Verbindung mit Remote-Service-Konzepten).
- Die Anlagenverfügbarkeit wird dadurch erhöht. Die indirekten Instandhaltungskosten sinken.

Demgegenüber stehen aber auch neue Herausforderungen und Risiken auf organisatorischer und technologischer Ebene, aber auch im Aus- und Weiterbildungsbereich:

- Die steigende Systemkomplexität stellt zusätzliche Anforderungen an das Kompetenzprofil der InstandhalterInnen.
- Dies löst die bestehenden Probleme durch den Facharbeitermangel nicht, sondern verschärft diese eher.
- Ausbildungsmaßnahmen greifen erst mittelfristig, darum sind rasch Maßnahmen zu setzen.
- Die mit Industrie 4.0 einhergehenden Veränderungen bedürfen eines professionellen Change-Managements – auch in den Instandhaltungsabteilungen.

Herausforderungen in der Instandhaltung

Richtungsweisend für die Positionierung der aktuellen Herausforderungen in der Forschungs- und Entwicklungs-Roadmap ist ein Ergebnis aus der Bedürfnis und Trendanalyse: Befragt nach ihrer Einschätzung der Herausforderungen einzelner Aspekte der Instandhaltung zeigt sich, dass die TeilnehmerInnen der quantitativen Umfrage die größten Anforderungen vor allem in nicht-technischen Bereichen sehen (s. Abbildung 1): Über 75 % der Befragten sehen die Herausforderungen im Bereich der „Etablierung neuer Arbeitspraktiken und Prozesse“ sowie in der „abteilungsübergreifenden Kooperation“ (sowohl in der Einführungs- als auch in der operativen Phase) und in der „Auswahl richtiger Instandhaltungsmethoden“ als „hoch“ und „sehr hoch“. Aber auch technischen Aspekte, wie die „Auswertung der Daten“ und die „Ableitung sinnvoller Maßnahmen aus den gewonnenen Daten“ werden überwiegend als „hoch“ und „sehr hoch“ eingeschätzt. Geringere Herausforderungen sehen die Befragten im Bereich der „Instandsetzung von Hardware“ und mit dem „Vertrauen in die technische Sensorik“.

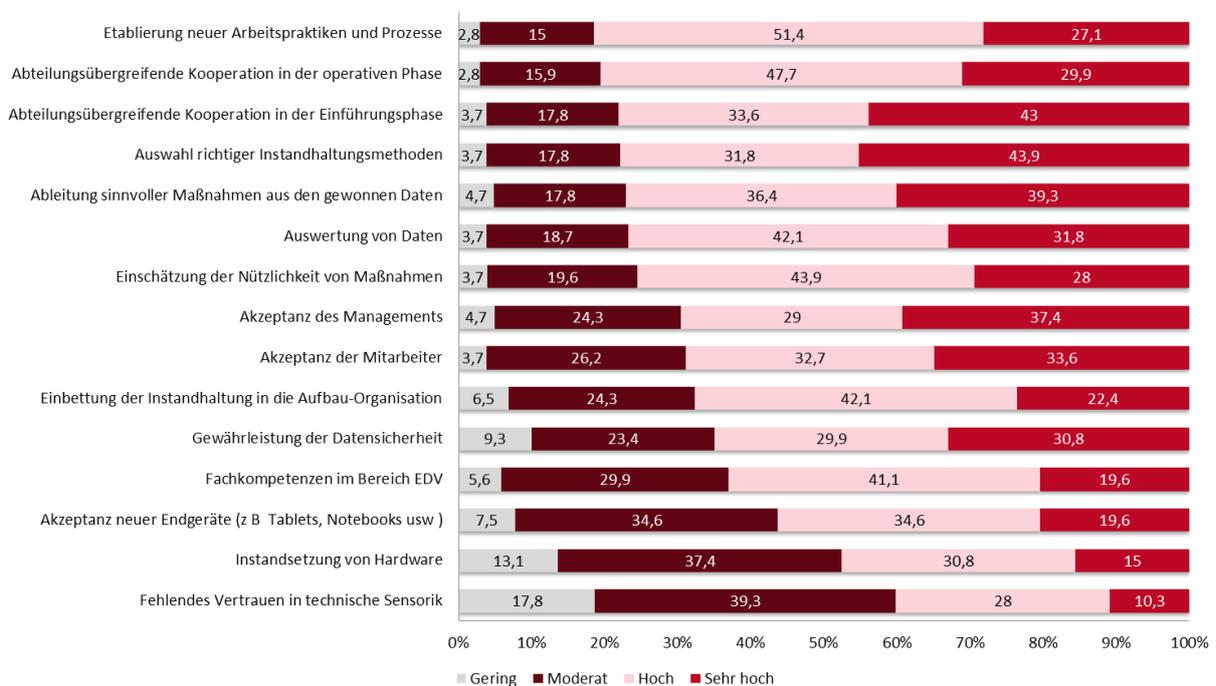
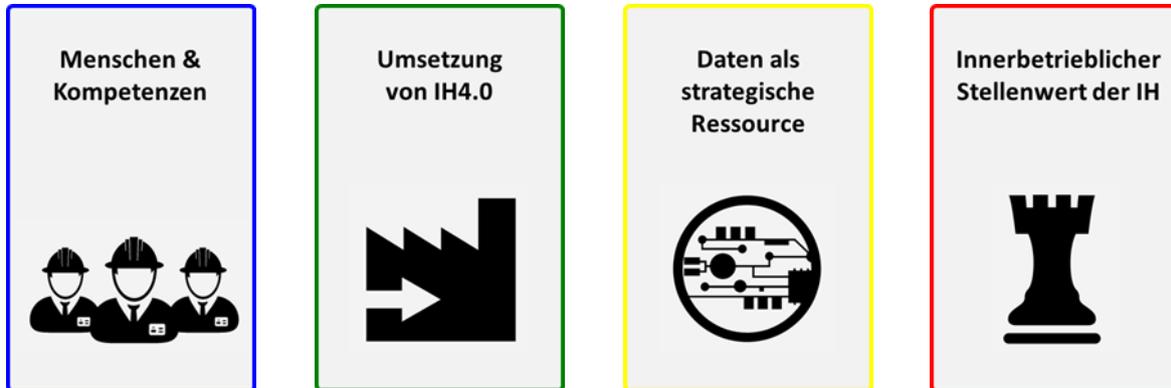


Abbildung 1: Herausforderungen in der Instandhaltung

Die Schwerpunkte bei den Herausforderungen liegen im Spannungsfeld zwischen Mensch, Organisation und Technologie und führten bei der Entwicklung der Roadmap zu einer intensiven Auseinandersetzung mit Lösungsansätzen. Es zeichnet sich ab, dass ganzheitliche Strategien - wie z.B. „Total Productive Maintenance“, „Total Asset Management“ und „Management by Design“ (s. auch Abschnitt 2.4 ab Seite 19) hohes Potenzial zur Begegnung der Herausforderungen haben.

2.1 Szenarien der Instandhaltung 4.0

Einen zentralen Stellenwert in der Entwicklung der Roadmap der Instandhaltung 4.0 nehmen die entwickelten Szenarien und die daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen ein. Aus den Analysen der Bedürfnisse haben sich vier Themenbereiche der Szenarien ergeben:



Der detaillierte Bericht zur Szenarientwicklung steht auf der Projekt-Website (<http://instandhaltung40.salzburgresearch.at/>) zum Download zur Verfügung⁸. An dieser Stelle werden die Ergebnisse nur insoweit wiedergegeben, als es zum Verständnis der Argumentation und zur Lesbarkeit des Berichts im Sinne der Vollständigkeit erforderlich ist.

Im Folgenden werden die Beschreibung der Szenarien und die im Rahmen der Studie gewonnene Einschätzung der ExpertInnen in Bezug auf die Eintrittswahrscheinlichkeit, auf die Auswirkungen und auf den Zeitpunkt des Eintretens zusammen wiedergegeben. In den darauffolgenden Abschnitten werden die Auswirkungen der Szenarien in den Spannungsfeldern „Mensch – Organisation – Technik“ und „Engineering – Betrieb – Instandhaltung“ und die sich daraus ergebenden Handlungsfelder abgeleitet.

2.1.1 Szenarien im Themenbereich „Menschen und Kompetenzen“

Szenario 1 – Fachkräftemangel: Weil MitarbeiterInnen mit erforderlichen Kompetenzen nicht gefunden werden können, bleiben 30 Prozent der Stellen in der Instandhaltung unbesetzt.

Szenario 2 – Renaissance des Berufsbildes: Neue digitale Werkzeuge (z.B. mobile Endgeräte, tragbare Devices, Datenbrillen), innovative Methoden und Arbeitspraktiken attraktivieren die Branche und führen unter technikaffinen Menschen zu einer steigenden Nachfrage nach dem Berufsbild Instandhaltung.

Szenario 3 – Entwicklungsblockade: MitarbeiterInnen mit langjähriger Erfahrung sind Kompetenzträger in der Instandhaltung. Den neuen Methoden und Technologien der Instandhaltung stehen sie jedoch skeptisch gegenüber. Sie bremsen daher und verhindern zum Teil den Umstieg zu einer IT-basierten Instandhaltung. Die Folge: IT-basierte Instandhaltung wird sich erst bei einem Generationenwechsel realisieren lassen.

Der Begriff „IT-basierte Instandhaltung“ wurde in den Umfragen und Interviews mit den ExpertInnen vereinfachend als Synonym für die mit Industrie 4.0 einhergehende Virtualisierung der Instandhaltungsprozesse verwendet. Die in den Augen der Herausgeber korrekte Bezeichnung lautet „Methoden- und IT-basierte Instandhaltung“.



⁸ Georg Güntner, Mark Markus: „Instandhaltung 4.0: Entwicklungsszenarien und Handlungsempfehlungen“ - <http://bit.ly/1Ot2Rbf>, Januar 2015

Einschätzung

Nachfolgende Tabelle zeigt die quantitative Einschätzung von ExpertInnen zum Themenausschnitt „Menschen und Kompetenzen“.

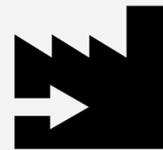
Szenarien	Eintrittswahrscheinlichkeit	Auswirkungen	Zeitpunkt	Plausibilität
1. Fachkräftemangel	Wahrscheinlich (3,6)	Groß (4,2)	In 4-6 Jahren (2,4)	14,9
2. Renaissance des Berufsbildes	Möglich (3,1)	Mittel (3,3)	In 7-9 Jahren (2,9)	10,2
3. Entwicklungsblockade	Möglich (3,3)	Mittel (3,1)	In 4-6 Jahren (1,9)	10,2
Skalen <u>Eintrittswahrscheinlichkeit</u> : 1 = Unmöglich; 2 = Unwahrscheinlich; 3 = Möglich; 4 = Wahrscheinlich; 5 = sehr wahrscheinlich <u>Auswirkungen</u> : 1 = Unbedeutend; 2 = Gering; 3 = Mittel; 4 = Groß; 5 = Sehr groß <u>Zeitpunkt</u> : 1 = In 1-3 Jahren; 2 = In 4-6 Jahren; 3 = In 7-9 Jahren; 4 = Nach 10 Jahren; 5 = Nie Plausibilität = Eintrittswahrscheinlichkeit x Auswirkungen				

Tabelle 1: Einschätzung von Szenarien „Menschen und Kompetenzen“ (N=15)

2.1.2 Szenarien im Themenbereich „Umsetzung von Instandhaltung 4.0“

Szenario 4 – Digitale Ablöse: Eine frühe Mehrheit von Unternehmen setzt IT-Lösungen zur Planung, Steuerung und Analyse der Instandhaltung systemisch ein. Instandhaltung 4.0 hat die traditionelle Welt der Instandhaltung endgültig abgelöst. Die meisten Anlagen sind mit Sensoren ausgestattet und die Daten digital erfasst. Die zustandsorientierte und vorausschauende Instandhaltung sind die Regel. Die Daten werden nicht nur zwischen verschiedenen Abteilungen, sondern auch über die Grenzen des Unternehmens systematisch getauscht, intelligent ausgewertet und handlungsleitend interpretiert. Die Auswirkungen in Bezug auf die Vermeidung von Stillständen, Ersatzinvestitionen, Kostensenkungen und Arbeitserleichterungen sind klar nachvollziehbar und dokumentiert.

Umsetzung
von IH4.0



Szenario 5 – Zwischen zwei Welten: Eine frühe Mehrheit von Unternehmen setzt IT-Lösungen zur Planung, Steuerung und Analyse der Instandhaltung in Teilbereichen, aber nicht systemisch ein. Trotz des Teileinsatzes von Softwareprogrammen, mobilen Endgeräten und neuen Methoden, spielt die traditionelle Welt der Instandhaltung einen sehr hohen Stellenwert und existiert weiterhin neben der neuen IT-Welt. Es werden einzelne Anlagen mit Sensoren ausgestattet und digitalisiert, etwa dort wo man sich einen schnellen und hohen Nutzen verspricht. Zustandsorientierte Instandhaltung ist vereinzelt umgesetzt und die vorausschauende Instandhaltung eine seltene Ausnahme.

Szenario 6 – Stecken in der traditionellen Instandhaltung: Eine frühe Mehrheit von Unternehmen in der Instandhaltung experimentiert mit IT in Pilotprojekten. Instandhaltung wird aber durch traditionelle Vorgänge dominiert. Da nur wenige Projekte die in sie gesetzten Erwartungen erfüllen können (bedingt durch viele technologischen und organisatorischen Herausforderungen), wendet man sich von Instandhaltung 4.0 ab und andere Projekte bekommen den Vorrang und die Geldmittel. Die Unternehmen verschlafen ihre digitale Zukunft.

Einschätzung

Szenarien	Eintrittswahrscheinlichkeit	Auswirkungen	Zeitpunkt	Plausibilität
4. Digitale Ablöse	Möglich (2,5)	Groß (3,6)	In 7-9 Jahren (3,4)	8,9
5. Zwischen zwei Welten	Wahrscheinlich (3,9)	Groß (3,5)	In 4-6 Jahren (1,5)	13,9
6. Stecken in der traditionellen Instandhaltung	Unwahrscheinlich (2,3)	Mittel (2,8)	In 4-6 Jahren (1,7)	6,5

Skalen
Eintrittswahrscheinlichkeit: 1 = Unmöglich; 2 = Unwahrscheinlich; 3 = Möglich; 4 = Wahrscheinlich; 5 = sehr wahrscheinlich
Auswirkungen: 1 = Unbedeutend; 2 = Gering; 3 = Mittel; 4 = Groß; 5 = Sehr groß
Zeitpunkt: 1 = In 1-3 Jahren; 2 = In 4-6 Jahren; 3 = In 7-9 Jahren; 4 = Nach 10 Jahren; 5 = Nie
Plausibilität = Eintrittswahrscheinlichkeit x Auswirkungen

Tabelle 2: Einschätzung von Szenarien „Umsetzung von Instandhaltung 4.0“ (N=14)

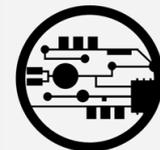
2.1.3 Szenarien im Themenbereich „Daten als strategische Ressource“

Szenario 7 – Maschinenhersteller haben die Daten: Maschinenhersteller werden in Zukunft bestrebt sein, die Daten von Anlagen für sich zu sichern, anstatt diese ihren Kunden zur Verfügung zu stellen. Sie werden aufbauend auf den Anlagendaten Services (z.B. für Anlagenbetreiber) anbieten oder aber neue Geschäftsmodelle umsetzen wollen.

Szenario 8 – Anlagenbetreiber haben die Daten: Zugang zu Anlagendaten (z.B. über eine Schnittstelle) wird immer mehr zu einem Kaufkriterium bei der Anschaffung von Anlagen. Zusätzlich generieren Anlagenbetreiber weitere (z.B. Umfeld-)Daten. Damit sichern sie sich einen eigenen Datenschatz für strategische Entscheidungen über die Anlagen, der sie von externen Playern unabhängig macht.

Szenario 9 – Daten als verteilte Ressource: Da die Anlagendaten an verschiedenen Orten entstehen bzw. generiert und ausgewertet werden, kommen verschiedene Player nicht umhin als die Daten untereinander zu teilen und gemeinsam zu nutzen. Nur so kann aus unterschiedlichen Dateninseln ein gemeinsames Datenbild erzeugt werden. Nur so können die Daten nutzbringend für alle Player (Maschinenhersteller, Anlagenbetreiber, Dienstleister) ausgewertet werden.

Daten als strategische Ressource



Einschätzung

Szenarien	Eintrittswahrscheinlichkeit	Auswirkungen	Zeitpunkt	Plausibilität
7. Maschinenhersteller haben die Daten	Möglich (3,5)	Groß (3,5)	In 4-6 Jahren (2,0)	12,4
8. Anlagenbetreiber haben die Daten	Wahrscheinlich (3,8)	Groß (3,9)	In 4-6 Jahren (1,7)	14,7
9. Daten als verteilte Ressource	Möglich (3,2)	Groß (4,4)	In 7-9 Jahren (2,6)	13,9

Skalen
Eintrittswahrscheinlichkeit: 1 = Unmöglich; 2 = Unwahrscheinlich; 3 = Möglich; 4 = Wahrscheinlich; 5 = sehr wahrscheinlich
Auswirkungen: 1 = Unbedeutend; 2 = Gering; 3 = Mittel; 4 = Groß; 5 = Sehr groß
Zeitpunkt: 1 = In 1-3 Jahren; 2 = In 4-6 Jahren; 3 = In 7-9 Jahren; 4 = Nach 10 Jahren; 5 = Nie
Plausibilität = Eintrittswahrscheinlichkeit x Auswirkungen

Tabelle 3: Einschätzung von Szenarien „Daten als strategische Ressource“ (N=15)

2.1.4 Szenarien im Themenbereich „Innerbetrieblicher Wert der Instandhaltung“

Szenario 10 – Instandhaltung als innerbetrieblicher Shooting Star: Endlich! Durch eine unterschiedlichen Abteilungen vernetzende Virtualisierung katapultiert sich die IH aus dem Schattendasein der Produktion zum innerbetrieblichen Shooting Star. Warum? Smarte IT-Maßnahmen führten zu erheblichen Kostensenkungen und die Instandhaltung trägt erheblich zur Wertschöpfung des Unternehmens bei.

Szenario 11 – Industrie 4.0 – so what: Instandhaltung bleibt Instandhaltung: Daten und Virtualisierung hin oder her, die Instandhaltung bleibt das unbeliebte oder unsichtbare „Kind“, dem man sich nur in Anlagennot- oder -ausfällen zuwendet, das ansonsten aber wenig Aufmerksamkeit und Gehör findet.

Szenario 12 – Evolution light, no revolution: Die Virtualisierungsinitiativen führen zu einer leichten strategischen Aufwertung der Instandhaltung im innerbetrieblichen Kontext. Die Instandhaltung bleibt aber nach wie vor in erster Linie ein Nebenprozess und die „Magd“ der Produktion. Sie muss weiterhin um ihre Stimme im innerbetrieblichen Gefüge hart kämpfen.

Innerbetrieblicher
Stellenwert der IH



Einschätzung

Szenarien	Eintrittswahrscheinlichkeit	Auswirkungen	Zeitpunkt	Plausibilität
10. Instandhaltung als innerbetrieblicher „Shooting-Star“	Unwahrscheinlich (2,0)	Groß (3,8)	Nach 10 Jahren (4,1)	7,5
11. Industrie 4.0 – so what: Instandhaltung bleibt Instandhaltung	Möglich (3,4)	Mittel (3,3)	In 4-6 Jahren (1,9)	11,2
12. Evolution light – no revolution	Wahrscheinlich (3,7)	Mittel (2,7)	In 4-6 Jahren (1,6)	9,8

Skalen
Eintrittswahrscheinlichkeit: 1 = Unmöglich; 2 = Unwahrscheinlich; 3 = Möglich; 4 = Wahrscheinlich; 5 = sehr wahrscheinlich
Auswirkungen: 1 = Unbedeutend; 2 = Gering; 3 = Mittel; 4 = Groß; 5 = Sehr groß
Zeitpunkt: 1 = In 1-3 Jahren; 2 = In 4-6 Jahren; 3 = In 7-9 Jahren; 4 = Nach 10 Jahren; 5 = Nie
Plausibilität = Eintrittswahrscheinlichkeit x Auswirkungen

Tabelle 4: Einschätzung von Szenarien „Innerbetrieblicher Stellenwert der Instandhaltung“ (N=13)

2.2 Spannungsfeld Mensch – Organisation – Technik

Die mit Industrie 4.0 einhergehenden Veränderungen erzeugen neue Wechselwirkungen im Spannungsfeld von Mensch, Organisation und Technik. Die nachfolgende Untersuchung der Auswirkungen auf die Instandhaltung stützt sich dabei auf die Ergebnisse der Bedürfnis- und Trendanalyse. Diese werden ergänzt mit den Resultaten der Szenarienentwicklung und des Technologie- und Forschungsradars.

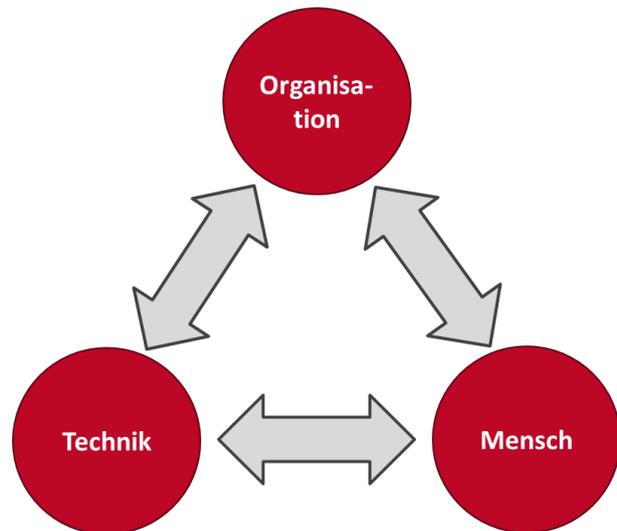


Abbildung 2: Spannungsfeld Mensch - Organisation - Technik

Menschen in der Instandhaltung

Die Expertenbefragung hat gezeigt, dass Menschen und ihre Kompetenzen eine sehr wichtige, wenn nicht die entscheidende Rolle für die Instandhaltung der Zukunft spielen: Viele der im Rahmen des Projekts befragten ExpertInnen sind der Meinung, dass die technischen Aspekte in der Instandhaltung weitestgehend gelöst sind und die wesentliche Herausforderung darin besteht, die Menschen in die Lage zu versetzen, die verfügbaren Technologien auch tatsächlich zu nutzen. Allerdings schaffen technologische Entwicklungen, wie zum Beispiel die fortschreitende Virtualisierung und das Internet der Dinge und Dienste, im Produktionsbereich völlig neue technologische und organisatorische Herausforderungen für die Instandhaltung: Diese sind größtenteils nicht unmittelbar von den Instandhaltungsabteilungen zu lösen sein, sondern müssen von den Anbietern von Software-Lösungen und von sensorischen Systemen gelöst werden. Dennoch werden diese Technologien letztlich auch einen Einfluss auf die Instandhaltung haben: InstandhalterInnen müssen beispielsweise die „Dashboards“ von cyber-physischen Systemen bedienen, auswerten und korrektive Maßnahmen durchführen können oder sie müssen die internet-basierte Sensorik überprüfen, austauschen und konfigurieren können, ohne dadurch unwissentlich und unabsichtlich Sicherheitslücken zu schaffen.



„Die technischen Dinge in der Instandhaltung 4.0 sind gelöst. Was wir als Menschen noch nicht schaffen ist die Technologie so zu nutzen, dass wir damit arbeiten können.“ (Kommentar eines Experten)

Die fortschreitende Virtualisierung führt zu einer **zunehmenden Komplexität der Produktions- und Instandhaltungssysteme** und steigert den Anspruch an die InstandhalterInnen. Immer öfter sind Mechatroniker gefragt, die sich in den unterschiedlichen Disziplinen (Mechanik, Elektronik und vor allem moderne IT) gut auskennen. Früher reichte es oft aus, ein guter Techniker zu sein, heute muss ein Instandhalter neben IT-Kompetenz auch fachliche, methodische, soziale und Führungskompetenzen vorweisen. Auch die Fähigkeit zum analytischen Vorgehen und methodischen Auswerten von Daten wird immer wichtiger.

Dies erfordert viel stärker **gesamtheitlich orientierte Ausbildungsstrategien**: Auf diese Herausforderungen reagieren jüngste Seminar- und Lehrveranstaltungsinhalte (vgl. „AMMT+: Asset Management and Maintenance Technologies“⁹ bzw. „Fit for Service 4.0“¹⁰). Gesamt-

⁹ AMMT+: Asset Management and Maintenance Technologies – www.ammt.eu

heitliche Ansätze oder akademische Curricula sind jedoch nur vereinzelt erkennbar. Die sich daraus ableitende Handlungsempfehlung an die Leit- und Ausbildungsbetriebe, die Universitäten und Fachhochschulen besteht darin, ganzheitlich orientierte Curricula für die Instandhaltung der Zukunft zu entwickeln, die auf die Beherrschung komplexer vernetzter Produktionssysteme ausgerichtet sind und gleichzeitig die Entwicklung von Sozial-, Kommunikations- und Führungskompetenzen fördern.

Die steigenden Anforderungen treffen eine Branche, in der in den letzten Jahren tendenziell Personal abgebaut wurde. Die Kombination von zunehmenden Anforderungen und personeller Ausdünnung spiegelt sich in einer hohen Burn-Out-Rate in der Instandhaltungsbranche wider. Die Instandhaltung kämpft zudem mit einem nicht attraktiven Image und gewinnt junge Menschen nur schwer für sich. Eine Folge dieser Entwicklung ist, dass sich die Instandhaltung um eine Verbesserung des Images bemühen muss: Der Ruf nach einer **Image-Kampagne** betrifft sowohl den Stellenwert der Instandhaltung als auch die Schaffung und Aufwertung des Berufsbilds Instandhaltung.

Systematischer Kompetenztransfer und -aufbau sind angesichts der bevorstehenden Pensionierungswellen akut. Die Unternehmen spüren einen deutlichen Fachkräftemangel. Es überrascht nicht, dass das Szenario „Fachkräftemangel“ von der Expertengruppe als das wahrscheinlichste eingeschätzt wird. Wichtig erscheint in diesem Kontext die **systematische Erfassung des Wissens** von erfahrenen MitarbeiterInnen vor ihrer Pensionierung. Dabei müssen die sich ergebenden Veränderungen systematisch begleitet werden: Ansonsten werden ältere MitarbeiterInnen, die Anlagen auf Basis der langjährigen Erfahrung bislang manuell überwacht und gewartet haben, Instandhaltung 4.0 möglicherweise als eine Bedrohung sehen: Einerseits geht es um Vertrauen in die Daten aus der Sensorik (als Ersatz und/oder in Ergänzung zu den eigenen Sinneseindrücken und Erfahrungswerten) und IT sowie andererseits um Machtverlust, wenn Monitoring von Sensoren und Algorithmen übernommen wird.

Moderne Instandhaltungs-Organisation und -Strategien

Auf organisatorischer Ebene wird Instandhaltung 4.0 dazu führen, dass Management, Produktion, Instandhaltung und IT-Abteilungen gemeinsam einen Beitrag leisten müssen, die Komplexität der neu entstehenden vernetzten Systeme zu beherrschen. Dies setzt organisatorische Strukturen voraus, die eine effiziente Kommunikation der betriebsinternen Abteilungen untereinander und mit den externen Lieferanten und Lösungsanbietern ermöglichen. Wir sprechen dabei einerseits von der direkten und abteilungsübergreifenden Kommunikation der MitarbeiterInnen in den jeweiligen Bereichen. Wir sprechen andererseits aber auch von der „Kommunikation“ bzw. dem Daten- und Informationsaustausch zwischen den beteiligten IT-Systemen.

Die **zwischenmenschliche Kommunikation**, erfordert neue Kommunikationskompetenzen, etwa im Umfeld der Kommunikation zwischen Technikern und Nicht-Technikern, zwischen Fertigungs-, Automatisierungs- und Instandhaltungs-Spezialisten, zwischen Managern und Nicht-Managern. Die **Kommunikation zwischen IT-Systemen**, führt uns in technologische Bereiche der Standardisierung, der Interoperabilität und der System-Integration, wie sie im Spannungsfeld Engineering – Betrieb – Instandhaltung in Abschnitt 2.3 sowie im Technologie-Radar im Abschnitt 3 beschrieben werden.

Eng verbunden mit der Instandhaltungs-Organisation sind Fragen nach der optimalen Instandhaltungsstrategie bzw. dem optimalen **Mix der Instandhaltungsstrategien**. Die Untersuchung hat gezeigt, dass es durch den Einsatz von intelligenter Sensorik in Verbindung mit analytischen Verfahren zu einem Trend weg von korrektiven und vorausbestimmten Instandhaltungsstrategien hin zu zustandsorientierten und voraussagenden Instandhaltungsstrate-

¹⁰ „Fit for Service 4.0“: Weiterbildungsangebot und Servicestandards zu Serviceinnovation für IoT und Service 4.0 - www.khsauter.de

gien kommen wird. D.h. Ansätze des **Condition Monitoring**, wie sie bereits in den vergangenen zehn bis fünfzehn Jahren entwickelt und zur Reife gebracht wurden, werden systematisch mit verstärkter Intensität eingesetzt. Hier gibt es, wie im Forschungs-Radar (vgl. Abschnitt 0) ausführlich beschrieben, eine Reihe von Forschungsfragen und Lösungsansätze.

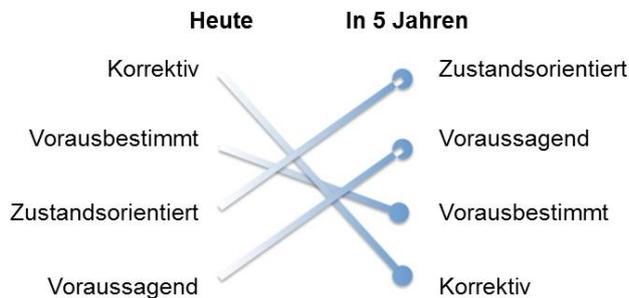


Abbildung 3: Die Bedeutung der Instandhaltungsstrategien heute und in fünf Jahren

Abbildung 3 (aus der Bedürfnis- und Trendanalyse) stellt die Veränderung der heute und in fünf Jahren erwarteten Bedeutung von Instandhaltungsstrategien dar: Während die Bedeutung von zustandsorientierter und voraussagender Instandhaltung steigt, fällt die heute noch als die stärkste Form eingeschätzte reparaturorientierte korrektive Instandhaltungsstrategie in den kommenden fünf Jahren auf die geringste Bedeutung zurück.

Abbildung 4 zeigt die erwartete relative Zu- bzw. Abnahme der Bedeutung der Instandhaltungsstrategien in fünf Jahren gegenüber dem aktuellen Stand. Sie verdeutlicht, dass bei der voraussagenden und bei der vorausbestimmten Instandhaltungsstrategie ein Wachstum im Bereich zwischen 20 % und 30 % zu erwarten ist, während die Bedeutung der korrektiven Instandhaltung in den kommenden fünf Jahren um ca. 25% abnehmen wird.

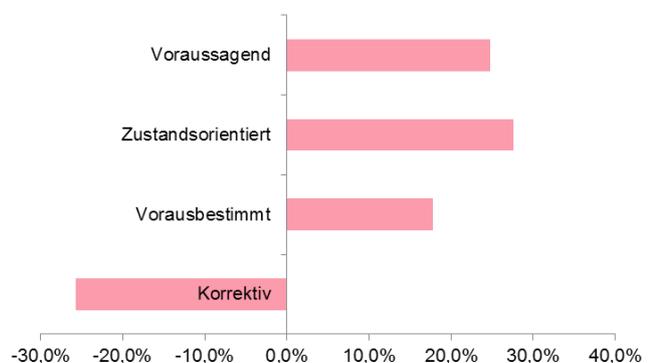


Abbildung 4: Relative Zu- und Abnahme der Instandhaltungsstrategien - Vergleich heute und in fünf Jahren (in %)

2.3 Spannungsfeld Engineering – Betrieb – Instandhaltung

Die Einrichtung vernetzter cyber-physischer Produktionssysteme stellt neue Anforderungen im Spannungsfeld zwischen Anlagebetreiber (Produktion), Anlagen- bzw. Maschinenherstellern (Engineering) und Instandhaltung-Abteilungen bzw. Instandhaltungsdienstleistern.

Durch die steigende Komplexität der Anlagen und die Vielzahl der interagierenden Systeme ist es auf technologischer, aber auch auf organisatorischer Ebene zwingend notwendig, die Verteilung von Daten und Informationen zwischen den drei Bereichen und Regeln für den Zugriff darauf festzulegen.

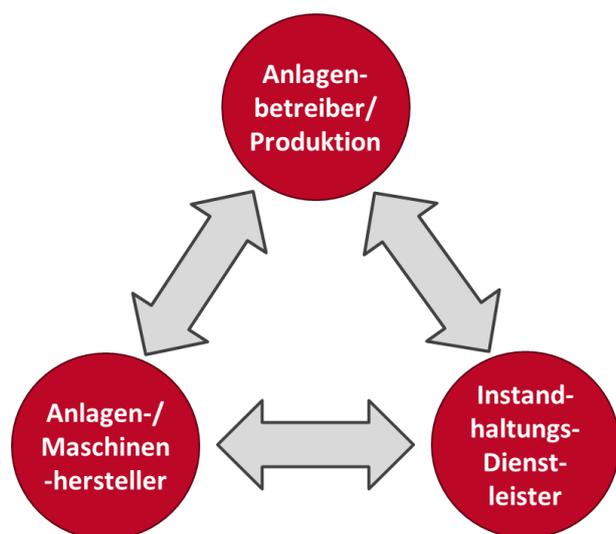


Abbildung 5: Spannungsfeld Engineering - Betrieb - Instandhaltung

Dies führte zur Entwicklung der im Abschnitt 2.1.3 vorgestellten Szenarien im Themenbereich „Daten als strategische Ressource“. Die Szenarien gehen von folgenden Voraussetzungen aus:

- Der Stellenwert der Anlagendaten in der Instandhaltung wird in Zukunft zunehmen.
- Die wichtigsten Branchenteilnehmer (Anlagenbetreiber & Produktion; Maschinenhersteller und Instandhaltungs-Dienstleister) werden versuchen, die Daten von Anlagen als strategische Ressource für sich zu sichern.
- Die entsprechenden Szenarien betreffen daher die Frage, wie diese strategische Ressource unter den wichtigsten Teilnehmern verteilt sein wird.
- Die Frage ist: Wer hat in Zukunft die Instandhaltungsrelevanten Anlagendaten?

Eine Methoden- und IT-basierte Instandhaltung der Zukunft kann laut den ExpertInnen nur unter der Annahme von verteilten Daten bzw. von einem intensiven und betriebsübergreifenden Datenaustausch realisiert werden. Dazu müssen einige Voraussetzungen erfüllt werden. Zunächst benötigt es technische Schnittstellen in verschiedenen Systemen. Wichtig sind Standards zum Austausch von Daten. Im Weiteren müssen Aspekte der Datensicherheit und des Vertrauens in den Schutz in die gesammelten und daraus mittelbar oder unmittelbar ableitbaren Informationen gelöst werden.



„System A aus dem Jahr 2014 muss mit dem System B aus dem Jahr 2024 und dem System C aus dem Jahr 1994 Daten austauschen können (der heutige Standard ist XML); dabei wird oft angenommen, dass beim Upgrade nachgebessert werden muss; das muss Betreibern klar sein, d.h. sie benötigen mehr IT-Bewusstsein.“ (Kommentar eines Experten)

Stärkere Integration von Produktion und Instandhaltung

Es ist davon auszugehen, dass es durch die zunehmende Virtualisierung der Produktionsprozesse zu einer **stärkeren Integration von Produktion und Instandhaltung** kommen wird. Cyber-physische Systeme bilden die reale Welt in digitalen Prozess- und Zustandsmodellen ab, basierend auf den während der Produktion anfallenden Daten. Diese Daten werden zukünftig vertikal – d.h. vom technischen Arbeitsplatz (Asset) am Shop-Floor aufwärts bis in die Geschäfts-Logik (ERP-Systeme) – integriert. Die daraus resultierenden Anforderungen an die Informations-Integration sind im Technologie-Radar im Abschnitt 3 beschrieben. Der Datenaustausch wird allerdings auch über die horizontalen Wertschöpfungsnetze hinweg erfolgen, d.h. von der Produktentwicklung über die Produktionsplanung und – Engineering bis zur Produktion und den Service-Prozessen werden Daten im innerbetrieblichen und überbetrieblichen Umfeld ausgetauscht.

Ein **systematischer Austausch der Informationen** zwischen den AnlagenherstellerInnen, AnlagenbetreiberInnen und den InstandhalterInnen ist noch selten: Fehlendes Vertrauen steht einer stärker unternehmensübergreifenden Kooperation im Weg. Auch wollen Unternehmen ihre Produktionsdaten nicht in die Cloud stellen. Die Daten sind allerdings nur der erste Schritt in Richtung Instandhaltung 4.0: Wichtig sind auch Kontextparameter, die noch kaum erfasst und mit anderen Datenquellen kombiniert werden.

Das vorrangige Problem an dieser Stelle ist nicht, dass zu wenig an Daten gesammelt werden. Ganz im Gegenteil: das gesammelte Datenvolumen ist in vielen Fällen enorm und steigt ständig. Was vielerorts fehlt, ist die Fähigkeit, die **Daten zu interpretieren, Informationen zu integrieren** und daraus entsprechendes **Wissen und Handlungsanweisungen abzuleiten und Entscheidungen zu treffen**. Technologische Lösungsansätze zur Überbrückung dieser Engpässe sind

- Systeme zur intelligenten Daten-Akquisition (z.B. Einsatz sensorischer Systeme sowie Ansätzen aus dem Internet of Things),
- Standards für den Datenaustausch und die semantische Beschreibung von Kontextparametern,

- Analyse-Verfahren für industriellen Datenströmen und großen Datenmengen (Big Data),
- Systeme zur Visualisierung von Anlagen und Prozessdaten,
- Methoden zur Unterstützung autonomer Entscheidungsfindung.

Zum Teil erlauben es die aktuellen technischen Systeme nicht, Daten selektiv weiterzureichen („Data-Agreements“, „Data-Banking“). Während hier die Verantwortung momentan noch bei den Anlagenherstellern liegt, müssen nach Meinung der ExpertInnen die Betreiber selbst mittelfristig Sicherheitssysteme einführen. Das Management muss sich mit der Frage auseinandersetzen, ob und in welchem Ausmaß einem Datenaustausch über die Grenzen des Unternehmens hinweg zugestimmt wird. Eine systematische Lösung dieser Herausforderung wird die Bedeutung von Beratern in der Instandhaltung in den kommenden Jahren steigen lassen („Berater Boom“).

Anwendungen dafür drängen sich im Bereich der voraussagenden Instandhaltung (Predictive Maintenance) auf. Unser Technologie-Radar zeigt beispielsweise einen Anwendungsfall im Bereich der erneuerbaren Energien, in dem es um die Überwachung und Schadensvorhersage in Windkraft-Anlagen geht.

Stand der Umsetzung

Die Implementierung von Maßnahmen, die dem Bereich Instandhaltung 4.0 zuzurechnen sind, ist aktuell ungleich verteilt, sowohl zwischen den Unternehmen als auch innerbetrieblich zwischen den einzelnen Abteilungen. Nach wie vor haben nur wenige Unternehmen und wenige Abteilungen innerbetriebliche Virtualisierungsmaßnahmen in Pilotprojekten umgesetzt. Die Schätzungen des Anteils an den Unternehmen, die schon Maßnahmen umgesetzt haben, liegen zwischen 5 % und 20 %.

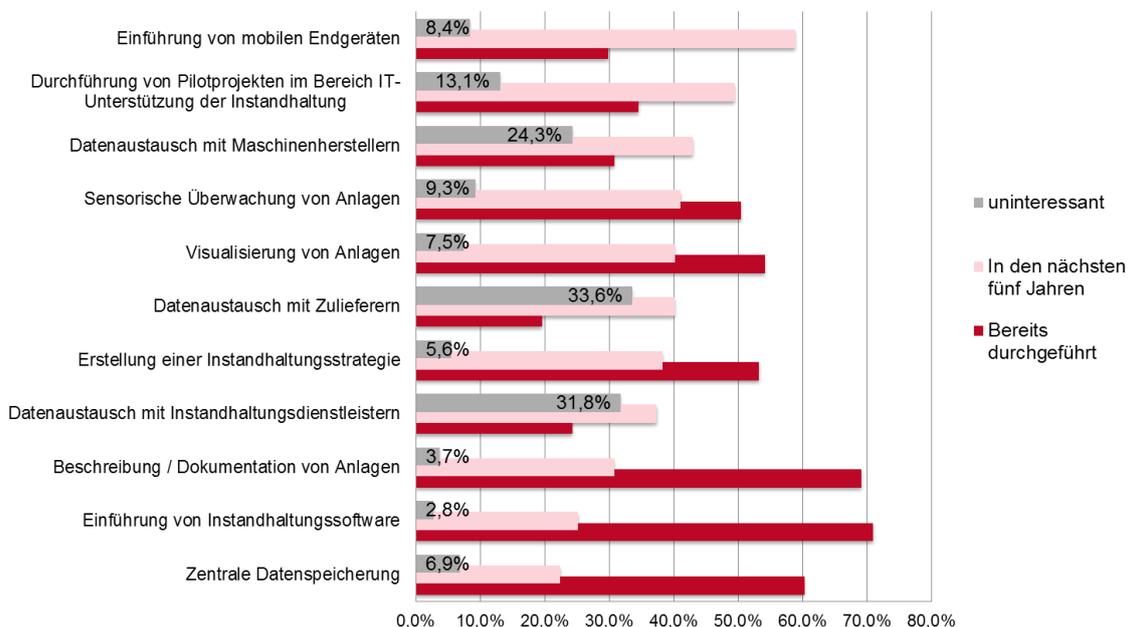


Abbildung 6: Durchgeführte und geplante Instandhaltungs-Projekte

Die Ergebnisse haben nicht immer die ursprünglichen Erwartungen (Kostensenkungen, Arbeitserleichterungen) erreicht. Das bremst eine schnelle breitflächige Ausrollung. Oft fehlte eine klare Systematik für die Nutzung der Daten und für die Ableitung von klaren Maßnahmen. Die technischen Maßnahmen sind mit den bestehenden organisatorischen Maßnahmen nicht ausreichend synchronisiert worden und deshalb oft gescheitert. Manche Unternehmen scheiterten, weil die Maßnahmen von Anfang an zu breitflächig angelegt waren, anstatt dass zunächst punktuelle „Keimprojekte“ gestartet wurden. Andererseits sind Verfahren im Bereich von Condition Monitoring bereits seit mehreren Jahren erfolgreich im Einsatz.

Dies entspricht durchaus dem in unseren Umfragen festgestellten Trend hin zu zustandsorientierten und vorausschauenden Instandhaltungsstrategien.

Die Umfragen liefern einen guten Einblick, welche Arten von Instandhaltungsprojekten aus dem Bereich „Instandhaltung 4.0“ bereits umgesetzt wurden und welche in den nächsten fünf Jahren geplant sind.

Abbildung 6 (aus der Bedürfnis- und Trendanalyse für die Instandhaltung 4.0, [Guen2014a] Seite 15f.) zeigt, dass (Pilot-) Projekte im Bereich „sensorische Überwachung“, „Anlagenvirtualisierung“, „Entwicklung einer Instandhaltungsstrategie“, „Dokumentation von Anlagen“, „Einführung von Instandhaltungssoftware und „zentrale Datenspeicherung“ bereits in der Mehrheit der befragten Unternehmen umgesetzt wurden.

Ein Bereich, in dem der Anteil der geplanten Instandhaltungsprojekte den Grad der aktuellen Umsetzung deutlich übersteigt, ist die „Einführung mobiler Endgeräte“. Dies liegt durchaus im Trend anderer Analysen, z.B. des IDC-White Papers „IT Consumers Transform the Enterprise“ [DelPrete2011].

Auch bei der „Durchführung von Pilotprojekten im Bereich IT-unterstützte Instandhaltung“ (hier war „sensor-basiertes Condition Monitoring“ in der Fragestellung als Beispiel angegeben), und beim „Datenaustausch“ mit Maschinenherstellern, Zulieferern und Instandhaltungsdienstleistern werden in den kommenden fünf Jahren zunehmend Projekte durchgeführt werden.

Für Beratungs- und Dienstleistungsunternehmen ergeben sich aus diesen Trends klare Handlungsanleitungen: Es gilt den Informationsbedarf zu erkennen und allfällig vorhandene Ängste zu entkräften bzw. mit den Unternehmen geeignete Strategien zur Entkräftung von Schwellenängsten zu entwickeln.

2.4 Paradigmenwechsel

Vom „traditionellen“ zum „modernen“ Instandhaltungsmanagement

Die folgende von dankl+partner entwickelte Gegenüberstellung von „traditionellem“ und „modernem“ Instandhaltungs-Management zeigt, dass in vielen Bereichen ein Paradigmenwechsel bevorsteht, der das Selbstverständnis, die Position im Wertschöpfungsprozess, die gesamtheitliche Ausrichtung von Maßnahmen und systematische Personalentwicklung umfasst. Entscheidungen erfolgen in Zukunft stärker daten- und fakten-basiert. Die Nachweis- und Dokumentationspflichten werden erfüllt. Ein umfassendes Wissensmanagement über betriebliche Instandhaltungsprozesse und –Maßnahmen ist erforderlich.

„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 7: Paradigmenwechsel
(Quelle: dankl+partner, Instandhaltung 4.0)

Maintenance by Design

Unter „Maintenance by Design“ versteht man eine frühzeitige Einbeziehung von instandhaltungsrelevanten Überlegungen im vernetzten Fertigungsprozess. Der Begriff wurde im Zuge der Studie innerhalb des Projektteams eingeführt. Er kennzeichnet den Paradigmenwechsel

- von der heute vielfach angetroffenen Rolle einer „vom Tagesgeschäft dominierten“ Instandhaltung als „Kostenfaktor“ und „Erfüllungsgehilfe der Produktion“ und „Unterstützern“
- hin zur zukünftigen Rolle einer „nachhaltig ausgerichteten“ Instandhaltung als „Wertschöpfungsfaktor“ und „strategischer Dienstleister“ im vernetzten Fertigungsprozess.

„Maintenance by Design“ wird auf verschiedenen Ebenen wirksam:

- bei der Einbeziehung von Instandhaltungs-Know-How in der Planung und Beschaffung von Anlagen im Asset Life Cycle;
- bei der Schaffung von Informationsschnittstellen zwischen Prozessüberwachung, Produktionsplanung und Instandhaltungsmanagement;
- beim Wandel vom unterstützenden zum wertschöpfenden Beitrag der Instandhaltung zum Unternehmenserfolg

In Anlehnung an den von der „Plattform Industrie 4.0“ geprägten Begriff „Industrie 4.0 by Design“ (vgl. [PlattInd2015] Seite 5f.) stellt „Maintenance by Design“ sicher, dass bei der Ver-

netzung von cyber-physischen Systemen alle Instandhaltungs-relevanten Informationen in Echtzeit zur Verfügung stehen, um einen optimalen Wertschöpfungsfluss innerhalb der Instandhaltungsprozesse zu ermitteln. Es muss sichergestellt werden, dass technische Lösungen in ihrer Komplexität beherrschbar bleiben. Das betrifft den Aspekt der Sicherheit (Security und Safety) und des Datenschutzes (Privacy). Es betrifft aber auch die Nachvollziehbarkeit von Instandhaltung-relevanten Entscheidungen, die von cyber-physischen Systemen autonom getroffen werden.

Hinter diesen globalen Wirkungsbereichen von „Maintenance by Design“ verbergen sich eine ganze Reihe von Forschungs- und Entwicklungsfragen technologischer und organisatorischer Natur, die wir im Abschnitt 2.5 („Roadmap“) zusammengefasst haben.

Digitaler Ersatz für den „Maschinenflüsterer“?

Zahlen (Sensor- und Betriebs-)Daten und Fakten sind die Kernelemente künftiger Instandhaltungsstrategien. Die Menschen sind jedoch noch nicht gewohnt, datenbasierte Entscheidungen zu treffen, wenngleich unsere Ergebnisse den Schluss zulassen, dass das Vertrauen in die technische Sensorik grundsätzlich vorhanden ist. Hier steht eine große Kulturveränderung bevor. Sie geht weg vom „Maschinenflüsterer“ („Franz erkennt am Geruch und Geräusch der Maschine, was zu tun ist“) zum Daten-Analytiker, weg von menschlichen hin zu den maschinellen Sensoren.



Abbildung 8: Der „traditionelle Maschinenflüsterer“

Quelle: Ingo Busch, verlag moderne industrie GmbH



Abbildung 9: Der „digitale Maschinenflüsterer“

Quelle: © fotolia.com / Salzburg Research

Die Digitalisierung in der Instandhaltung entlang der Wertschöpfungskette erfordert jedenfalls sowohl inner- als auch zwischenbetrieblich mehr Kooperation, (Daten-)Transparenz und Vertrauen. Die Realisierung dieser Soft-Skills ist wesentlich aufwändiger als der Einsatz neuer Technologien.

Fortschrittliches Integriertes Condition Monitoring und Predictive Analysis bilden also die „digitalen Pendanten“ zum „Maschinenflüsterer“: Fortgeschrittene Simulations- und Analysemodelle ersetzen zunehmend die Fähigkeit des traditionellen Maschinenflüsterers, den Zustand seiner Maschinen am Geschmack, Geruch, Geräusch und visuellen Eindruck zu erkennen. Aber ersetzen sie auch den Menschen? Eine eindeutige Antwort auf diese Frage

bleibt unsere Studie schuldig: Klar ist, dass der Mensch von Routine-Aufgaben entbunden wird, klar ist, dass der Mensch die Entscheidung darüber fällen wird, ob und wann er ein Instandhaltungsmaßnahme durchführt. Er wird aber in vielen Bereichen von digitalen Systemen unterstützt. Seine Tätigkeit und die Rolle der Instandhaltung insgesamt werden mittelfristig aufgewertet (vgl. [Guen2015b])

Total Productive Maintenance (TPM)

Total Productive Maintenance (TPM) ist ein ganzheitlicher Ansatz für Instandhaltungsmanagement: TPM basiert auf einer gemeinsamen Betrachtungsweise von Produktions-, Instandhaltungs- und Qualitätsmanagement. Die Instandhaltung wird als eine produktivitätsorientierte Funktion betrachtet, die von allen ArbeitnehmerInnen unternehmensweit in Kleingruppenaktivitäten unterstützt wird. Die fünf Säulen von TPM sind im nebenstehenden Informations-Kasten dargestellt (nach [StuDan2010], S. 115).

Auch wenn TPM als Ansatz schon seit den 1950er Jahren bekannt ist und in der Vergangenheit viele Höhen und Tiefen durchgemacht hat, die mit übertriebenen Erwartungen, schulmeisterlich durchgeführten Einführungsstrategien, steigender Arbeitsbelastung und subjektiven Ängsten der MitarbeiterInnen zusammenhängen.

Die fünf Säulen von TPM

1. Kontinuierliche Verbesserung
2. Autonome Instandhaltung
3. Geplante Instandhaltung
4. Anlaufüberwachung
5. Training und Ausbildung

Quelle: Asset Manager [StuDan2010]

Die fünf Säulen von TPM lesen sich wie das „Credo“ der Experten-Interviews und Befragungen zu den Chancen und Herausforderungen von Instandhaltung 4.0. Das Industriemagazin Factory veröffentlichte im April 2015 einen Gastkommentar von Andreas Dankl, Mitherausgeber dieses Berichts, in dem dieser unter dem Motto „TPM: Totgesagte leben länger!“¹¹ argumentiert, dass TPM beim richtigen Zuschnitt auf die Rahmenbedingungen und Ziele der Unternehmen sowie bei Beteiligung aller MitarbeiterInnen einen durchaus aktuellen Ansatz für Instandhaltungsmanagement darstellen kann.

Total Asset Management (TAM)

Eine Erweiterung des in ganzheitlichen Ansätzen wie Total Productive Maintenance (TPM) bildet Total Asset Management (TAM). Dabei wird der Fokus stärker auf den Anlagenlebenszyklus gelegt: Aus dem „traditionellen“ Instandhalter wird der „Asset-Manager“ oder „Equipment Engineer“ der Zukunft. Eine Mitwirkung bei instandhaltungsgerechten Design der Anlagen (vgl. auch „Maintenance by Design“), die Einbeziehung von externen Services, die kontinuierliche Anpassungen des Strategie-Mix in der Instandhaltung und die Verbesserung der Energieeffizienz rücken in den Mittelpunkt des Managements.

Prof. Lennart Brumby, Studiengangleiter Service-Ingenieurwesen an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Mannheim und einer der in dieser Studie involvierten Experten, führte auf der maintenance 2014 in Dortmund aus¹², wie er sich den Übergang vom TPM zum TAM vorstellen kann und verwendet zur Erklärung das in Abbildung 10 dargestellte Modell des Total Asset Management.

Wesentliche Managementaspekte bilden nach Prof. Brumby die Wertorientierung (verbunden mit einer Maximierung der Wertschöpfung), die aus TPM-Ansätzen bekannte kontinuierliche Verbesserung, die Bildung strategischer Partnerschaften zwischen Anlagenbetreibern, Herstellern und Industrieservices, sowie eine systematische Risikobetrachtung.

¹¹ Factory (24.04.2015): Gastkommentar Andreas Dankl. „TPM: Totgesagte leben länger!“ -

http://www.factorynet.at/home/artikel/Gastkommentar_Instandhaltung/TPM_Totgesagte_leben_laenger/aid/26705

¹² Prof. Lennart Brumby: „Vom TPM zum Total Asset Management (TAM)“. Vortrag auf der maintenance 2014 in Dortmund (26.02.2014): <http://bit.ly/1Fck725>

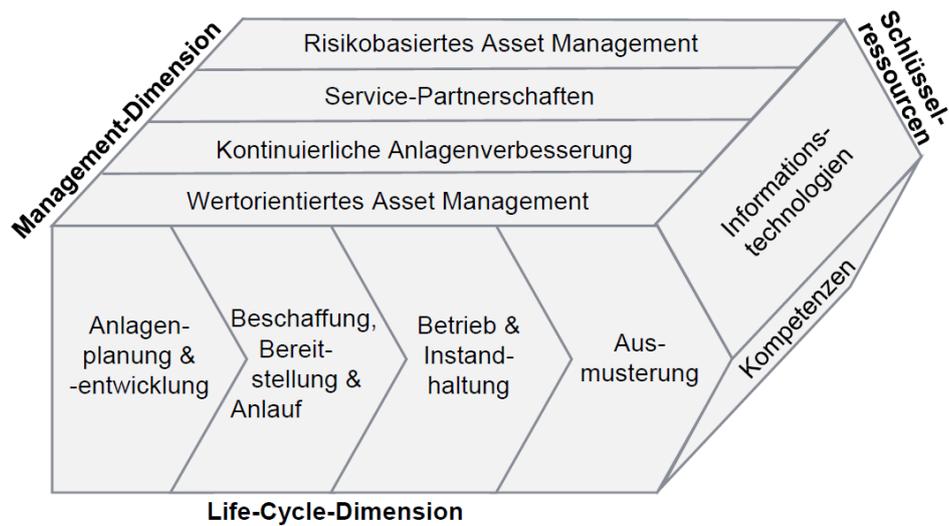


Abbildung 10: Modell des Total Asset Management (Quelle: L. Brumby, DHBW Mannheim)
(mit freundlicher Genehmigung von Prof. Lennart Brumby)

Als Schlüsselressourcen im TAM-Ansatz gelten die Informationstechnologien und die Kompetenzen der Führungskräfte und MitarbeiterInnen. Die Anforderungen im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien liegen in der verstärkten horizontalen Integration der IT-Systeme (d.h. Integration über den gesamten Anlagenlebenszyklus, aber auch über die Geschäftsprozess hinweg) und in der vertikalen Integration der IT-Systeme (d.h. die Integration von der sensorischen Ebene und der Ebene der Maschinendaten über die Steuerung bis in die Produktions- und Unternehmensplanungssysteme).

2.5 Roadmap

Die nachfolgende Darstellung der Handlungsfelder und der Forschungs- und Entwicklungsfragen in der Instandhaltung 4.0 basiert auf den in der ersten Projektphase gewonnenen Ergebnissen der Bedürfnis- und Trendanalyse für die Instandhaltung. Diese Ergebnisse wurden anhand der in den späteren Projektphasen erzielten Resultate aktualisiert. Dabei fließen insbesondere die im Rahmen der Szenarienentwicklung und der Untersuchung der technologischen Trends erzielten Ergebnisse ein. Es wurden daraus Handlungsfelder für die Entwicklung und Forschung im organisatorischen Bereich (z.B. Instandhaltungsstrategien) sowie bei den Informationssystemen und den Ausbildungsstrategien identifiziert,

2.5.1 Handlungsfelder

Aus den Rückmeldungen von ExpertInnen während der Szenarienentwicklung leiten sich folgende zentrale Handlungsfelder ab:

Aufwertung des Image des Berufsbildes

Die Instandhaltung muss für junge potenzielle Arbeitskräfte attraktiv gemacht werden. Dabei geht es nicht nur um die Instandhaltung, sondern auch breiter um die Aufwertung des Image-Werts von FacharbeiterInnen und insbesondere um bessere Karriereaussichten. Eine Imagekampagne sollte unternehmensübergreifend auf Ebene der Wirtschaftsverbände und der Politik forciert werden. Die Vertreter der Instandhaltung müssen sich vernetzen, um den Stellenwert der Instandhaltung gemeinsam öffentlich wirksam zu kommunizieren. Zusätzlich muss der Stellenwert der Instandhaltung innerbetrieblich klarer ausgearbeitet und kommuniziert werden.



„Eine Imagekampagne für die Facharbeiter ist nötig. Aktuell haben Bankarbeiter und Softwareprogrammierer ein gutes Image; die, die in Werken arbeiten machen sich schmutzig und sind nicht attraktiv. So eine Imagekampagne soll firmenübergreifend gemacht werden. Wenn das eine einzelne Firma macht, bringt es nichts. Das scheint der einzige Weg zu sein, die IH wieder interessanter zu machen.“ (Kommentar einer ExpertIn)

Gezielte Nachwuchsförderung

Um den bevorstehenden Fachkräftemangel rechtzeitig entgegenzuwirken müssen betriebliche und außerbetriebliche Weiterbildungsangebote für Instandhaltung geschaffen und forciert werden. Dabei geht es um interdisziplinär ausgerichtete Ausbildungsmaßnahmen, in welchen der relevante Kompetenzen-Mix von Mechanik und Elektronik im Zusammenhang mit sozialen, Methoden- und Führungskompetenzen gelehrt wird. Die Ausbildungsmaßnahmen sollen vor allem das Augenmerk auf die Sozial- und Kommunikationskompetenzen legen, um den Anforderungen an die branchenübergreifende Zusammenarbeit in einer künftig wesentlich stärker vernetzten Instandhaltung Rechnung zu tragen.

Professionelle Begleitung des Wandels in Unternehmen

Angesichts des Ausmaßes der Veränderungen, sowie mit Blick auf die potenziellen Widerstände müssen nicht nur technische, sondern auch die organisatorisch-kulturellen Aspekte stärker berücksichtigt werden. Vor allem muss angesichts der möglichen Entwicklungsblokkade daran gedacht werden, dass professionelle Change-Manager die Projekte begleiten und somit ihre Erfolgswahrscheinlichkeit erhöhen.

Dosierte Umsetzung von Instandhaltung 4.0

Die Instandhaltung 4.0 soll schrittweise oder dosiert und nicht von Anfang an flächendeckend umgesetzt werden. Dies könnte sich als Umsetzungsbremse erweisen. Die neuen technischen Möglichkeiten dürfen andererseits nicht zu einer unüberlegten Umsetzung verführen. So ein Experte: *„Nicht alles umsetzen, was machbar ist, sondern auch den Aufwand der Erhaltung/Pflege berücksichtigen.“* Empfehlenswert ist etwa die Digitalisierung von so genannten kritischen Aggregaten. Durch kleine Schritte soll gelernt werden, worauf es ankommt. So können kleine Etappenerfolge gesichert werden, die eine Basis für einen nachhaltigen Umstieg auf eine Instandhaltung 4.0 bereitstellen.

Aufbereitung von Best Practice-Beispiele für Instandhaltung 4.0

Überzeugende und nutzbringende Beispiele, wie IT in der Instandhaltung Nutzen generieren kann, sollen systematisch gesammelt und in der Literatur und bei Industrieveranstaltungen zum Thema gemacht werden. Solche Beispiele sollen zur Umsetzung motivieren und für Verantwortliche Wege, Hindernisse und Lernthemen aufzeigen. Es ist dabei wichtig, nicht zu hoch anzusetzen (z.B. Geschäftsmodelle, vorausschauende Instandhaltung oder Datenbrillen), sondern immer noch bei der Umsetzung der zustandsorientierten Instandhaltung.

Sammeln und Start von Data-sharing-Pilotprojekten

Innerbetrieblich lernen und "Systeme einführen bei denen verschiedene Abteilungen zentral auf Daten zugreifen können (Verfahrenstechnik, EMSR, Instandhaltung)", um dann auch betriebsübergreifend richtig handeln zu können.

Aufbau von Erfahrungswissen (Best-Practice) über Data-Sharing

Es muss eine Wissensbasis zur Orientierung von Stakeholdern aufgebaut werden: „Es braucht gute Beispiele der gemeinsamen Datennutzung und Mechanismen, die transparent abgrenzen, was geteilt wird und was nicht.“ Ebenso können die Informationen genutzt werden, um das Bewusstsein bei Betreibern und Maschinenhersteller für die Teilung von Daten zu erhöhen.

Entwicklung von Regeln und Modellen für Data-Sharing

Darauf aufbauend können nicht nur *„Kontrollmechanismen für die nachvollziehbare Abgrenzung von geteilten und ungeteilten Daten“* leichter entwickelt werden. Derartige Regeln können z.B. gemeinsam entwickelt werden, wie ein Experte anregt: *„Gemeinsame Entwicklung von Abnutzungs-/Beanspruchungs-/Zustandsmodellen.“*

2.5.2 Forschungs- und Entwicklungsfragen

Aus den Spannungsfeldern der Instandhaltung 4.0 („Mensch – Maschine - Organisation“, „Engineering – Betrieb – Instandhaltung“) und im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Handlungsfeldern werden die folgenden Empfehlungen für die zukünftige Forschung und Entwicklung in der Instandhaltung 4.0 abgeleitet. Es werden dabei auch die Resultate aus den „Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0“ (acatech, [Kager2013]), die Studie „Intelligent Maintenance“ (Prof. Schuh, u.a. [Schuh2005]), das Whitepaper „F&E Themen in Industrie 4.0“ (Plattform Industrie 4.0, [PlattInd2015]), die Ausschreibungen der FTI-Initiativen „Produktion der Zukunft“¹³ und „IKT der Zukunft“¹⁴ (Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft, FFG) sowie die Studie „Conquering Data in Austria“ (max.recall, TU Wien, [Berger2014]) integriert.

¹³ FFG: FTI-Programm „Produktion der Zukunft“ - <https://www.ffg.at/produktionderzukunft>

¹⁴ FFG: FTI-Programm „IKT der Zukunft“ - <https://www.ffg.at/iktderzukunft>

Beherrschung der Komplexität

Thema	F&E-Felder
Die vernetzten cyber-physische Systeme in der Smart Factory führen zu einem erheblichen Anstieg der Komplexität der Systeme. Die sich daraus ableitende Forschungs- und Entwicklungsfragen sind, wie die komplexen cyber-physischen Systeme aus der Sicht der Instandhaltung beherrschbar gemacht werden können.	<ul style="list-style-type: none"> • Konzeption und Entwicklung Industrie 4.0-tauglicher Instandhaltungs-Cockpits • Konzeption und Entwicklung multimodaler Assistenzsystem für die Instandhaltung: Mensch-Maschine-Interfaces für die Anleitung, Durchführung und Protokollierung von Instandhaltungsaufträgen in cyber-physischen Systemen • Synchronisationsmethoden in cyber-physischen Fertigungssystemen: Entwicklung von Methoden und Verfahren, durch die sichergestellt werden kann, dass der reale Zustand der Anlagen und deren digitales Abbild auf demselben Stand sind. • Wissensmanagement- und Dokumentationssysteme für Industrie 4.0-tauglicher Instandhaltungsanforderungen • Kompetenzaufbau: Entwicklung von Curricula für die Instandhaltung cyber-physischer Systeme (s. auch „Querschnittsthemen“).

Intelligente Sensorik und Analytik

Thema	F&E-Felder
Fortschrittliche Instandhaltungsstrategien (zustandsorientierte und vorausschauende Instandhaltungsstrategien) basieren auf der Erfassung, Analyse und Interpretation von Daten und Informationen über cyber-physische Systeme und virtualisierte Fertigungsprozesse. Die Forschungs- und Entwicklungsfragen umfassen Aspekte der Interoperabilität, der Integrierbarkeit, der Echtzeit-Analyse und der Compliance	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung vom Plug&Play-Sensorik für industrielle Anwendungen: Entwicklung geeigneter industrietauglicher Sensoren, selbst-beschreibende sensorische Systeme auf Basis von semantischen Modellen und Übertragungsdiensten • Erfüllung von Compliance-Anforderungen: was, wann, wer, wie, in welchem Systemzustand wurden Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt? Wodurch wurden diese angeordnet? • Methodik für die energieeffiziente, verlässliche und sichere Übertragung von Sensor-Daten. • Methodik für die Analyse instandhaltungs-relevanter Datenströme: Festlegen von Key Performance Indikatoren; Pufferung und real-time-Analyse • Autonome Instandhaltungsaufträge: cyber-physische Systeme und Instandhaltungs-Agenten als Auslöser von Instandhaltungsaufträgen; Integration mit Produktionsplanungssystemen; Einsatz von Agententechnologien im Bereich der Instandhaltung. • Entwicklung von Simulationsansätzen und von vorausschauenden Prognosemodellen für die Instandhaltung zur Gewährleistung hohe Systemverfügbarkeit und zur Steigerung der Zuverlässigkeit von Produktionssystemen (Condition Monitoring, Predictive Maintenance). Kontinuierliche Verbesserungsprozesse

Durchdringung von Fertigungssystemen mit Internet Technologien

Thema	F&E-Felder
<p>Die Forschungs- und Entwicklungsfragen, die sich aus der Durchdringung von Fertigungssystemen mit Internet-Technologien in Bezug auf die Instandhaltung ergeben, beschäftigen sich mit der Lösung der Kommunikations- und Kompetenzprobleme zwischen der Produktions-, Instandhaltung- und IT-Abteilungen: Wie kann ein gemeinsames Verständnis hergestellt werden, das es ermöglicht, die Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken der jeweils anderen Fachgebiete zu erkennen? Die vorgeschlagenen Maßnahmen umfassen organisatorische und technologische Aspekte.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ausrüstung und Erweiterung von Produktionsanlagen mit internet-basierten Schnittstellen und Services unter Berücksichtigung von Zuverlässigkeits-, Sicherheits- und Interoperabilitäts-Aspekten (sichere Kommunikationsprotokolle). • Integration von Internet- und Automatisierungstechnologien im Hinblick auf die Anforderung moderner Instandhaltung: selbstbeschreibende Systeme, funktionale Modellierung, instandhaltungsrelevante Key Performance Indikatoren. Anwendung von semantischen Technologien zur Integration heterogener Produktions- und Instandhaltungsdaten. • Konzeption und Entwicklung industrietauglicher Internet-basierter sensorischer und Steuerungs-Systeme zur Unterstützung des Instandhaltungsprozesses („Industrial Internet of Things“, Sensoren/ Aktuatoren, etc.)

Moderne Instandhaltungs-Organisation und -Management

Thema	F&E-Felder
<p>Die Forschungs- und Entwicklungsfragen in Hinblick auf die Bereiche Organisation und Management für die moderne Instandhaltung legen den Fokus auf ganzheitlichen Instandhaltungsstrategien. Diese bilden potentielle Lösungsansätze für die Herausforderungen und Komplexität der Instandhaltungsaufgaben in der Industrie 4.0</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung von Organisations- und Management-Modellen für die Instandhaltung in der von cyber-physischen Systemen gekennzeichneten „Fabrik der Zukunft“: intelligente Instandhaltungs-Strategien in flexiblen, autonomen und cyber-physischen Produktionssystemen; Total Asset Management; Lean Production, Asset Life Cycle (Maintenance by Design) • Entwicklung geeigneter Organisationsformen zur Integration von Produktion, Instandhaltung und IT. • Entwicklung von Bewertungsmodellen für Key Performance Indikatoren im Asset Life Cycle (z.B. Kosten, Qualitätsvorgaben, Anlagenverfügbarkeit) und von Modellen zur dynamischen Anpassung der Instandhaltung-Strategien bzw. des Strategie-Mix der Instandhaltung unter Berücksichtigung von Leistungs- und Kostentransparenz. • Entwicklung von Geschäftsmodellen für die moderne Instandhaltung (externe Instandhaltung, dezentrale und zentrale interne Instandhaltung).

Querschnittsthemen

Thema	F&E-Felder
Die Querschnittsthemen umfassen Fragen im Bereich der Standardisierung, Normierung und im Umfeld der Ausbildung für die Instandhaltung	<ul style="list-style-type: none">• Entwicklung, Anpassung und Verwendung von technologischen Standards, Schnittstellen und Frameworks mit Schwerpunkt auf Instandhaltungsprozessen, unter Berücksichtigung der Bereiche Sensorik, Automatisierung, Datenmanagement, Informations-Integration Compliance, Sicherheit und Datenschutz. Beachtung von ISO 55000- ISO 55002 (Asset Management) sowie EN 16646 (Maintenance within physical asset management)• Entwicklung ganzheitlich orientierter Curricula für die Instandhaltung der Zukunft, die auf die Beherrschung komplexer vernetzter Produktionssysteme ausgerichtet sind und gleichzeitig die Entwicklung von Sozial-, Kommunikations- und Führungskompetenzen fördern.

3 Technologie-Radar

Die im Folgenden vorgestellten Technologien wurden im Hinblick auf ihre Relevanz für zukünftige Entwicklungen in der Instandhaltung ausgewählt. Es wird kein Anspruch erhoben, dass dieses Technologie-Radar alle derzeitigen Strömungen und Möglichkeiten erfasst: Das Umfeld der technologischen Entwicklungen ist äußerst dynamisch. Der Fokus wird auf das Potenzial der Technologien für die Instandhaltung 4.0 gelegt. In Verbindung mit den im Forschungs-Radar (siehe Abschnitt 0 auf Seite 40) dargestellten Projekten ergibt sich ein Gesamtbild über die Relevanz und Anwendungsmöglichkeiten der Technologien für die Instandhaltung der Zukunft.

Das Technologie-Radar beschreibt zunächst einige Standards im Bereich von Engineering und Automatisierung. Anschließend wird auf das Internet der Dinge und die semantischen Technologien als potenziellen technologischen Treibern der Instandhaltung der Zukunft eingegangen.

3.1 Im Dickicht der Standards

3.1.1 Einführung

Bei der Betrachtung des Spannungsfeldes zwischen Anlagenhersteller, Anlagenbetreiber und Instandhaltung (vgl. Abschnitt 2.3 auf Seite 16f.) waren Forderungen nach einem systematischen Austausch von Informationen im Zuge der vertikalen und horizontalen Integration von Prozessen in der Industrie 4.0 erkennbar. Der Fokus liegt auf praktischen Ansätzen zur Informationsintegration: Die Grundlage dafür bilden Standards für den Datenaustausch und Schnittstellen zur Integration von (bisher oft monolithischen) IT-Systemen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass in den Anlagen und Maschinenparks keine „grüne Wiese“ vorliegt: Equipment wird mit einer langfristigen Investitionsstrategie beschafft und wird über Jahre und Jahrzehnte eingesetzt. Entwicklungen in der IT-Landschaft haben eine demgegenüber geradezu rasante Dynamik. Daher müssen die Integrationsbemühungen mit der Tatsache umgehen können, dass alte und moderne System miteinander kommunizieren.

In Abschnitt 2.3 wurden einige technische Handlungsfelder für den systematischen Austausch von Informationen vorgestellt. Im Folgenden wird ein Überblick über die Automatisierungsstandards gegeben und dann exemplarisch zwei Standards näher, die uns für die Instandhaltung der Zukunft relevant erscheinen: AutomationML und OPC UA beleuchtet.

3.1.2 Automatisierungsprotokolle und -Standards

Im Bereich der Automatisierung existieren eine Vielzahl von Standards und Protokollen, die spezielle Anwendungsbereiche adressieren: Prozessautomatisierung, industrielle Steuerungssysteme, Gebäudeautomatisierung, Automatisierung für Energiesysteme, automatisches Ablesen von Zählerständen (Automatic Meter Reading, Smart Meter), Fahrzeuge bzw. Automotive (vgl. Abbildung 12 - Quelle: Wikipedia¹⁵).

Die hier genannten Standards und Protokolle kommen auf verschiede-

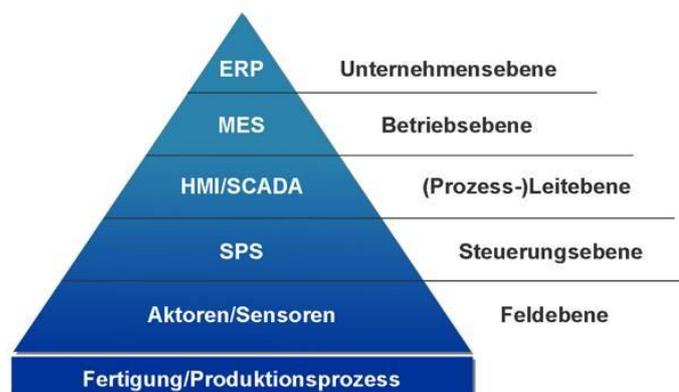


Abbildung 11: Automatisierungspyramide
(Quelle: www.automation.at)

¹⁵ Wikipedia: Automation protocols - http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_automation_protocols

nen Ebenen der Automatisierungspyramide (vgl. Abbildung 11) zum Einsatz. Von der Feldebene (Sensoren und Aktuatoren) über die Steuerungsebene (SPS), die (Prozess-) Leitebene (HMI/SCADA) bis zur Betriebsebene (MES, MIS) und zur Unternehmensebene (ERP). Auf all diesen Ebenen existieren hoch spezialisierte und performante IT- und Kommunikationssysteme. Je nach deren Positionierung in der Automatisierungspyramide kommunizieren die Systeme bereits mit den darunter und darüber liegenden Schichten (beispielsweise filtern und liefern HMI/SCADA-Systeme Informationen an die Produktionsplanungssysteme), aber bei der Untersuchung der Lösungen wird klar, dass diese Lösungen in vielen Fällen individuell gestaltet sind – und derzeit auch gestaltet werden müssen: Denn es gibt wenige offene Schnittstellen. In einigen Fällen sind auch die Protokolle selbst nicht offengelegt. Die Anbieter schützen sich damit vor Austauschbarkeit. Dennoch kommt gerade durch Industrie 4.0 Bewegung in diese Landschaft. Der Druck zur Virtualisierung wird in diesen Bereich zu Vereinheitlichungen, offenen Schnittstellen und Protokollen führen.

V · T · E	Automation protocols	[hide]
Process automation	AS-i · BSAP · CC-Link Industrial Networks · CIP · CAN bus (CANopen, DeviceNet) · ControlNet · DF-1 · DirectNET · EtherCAT · Ethernet Global Data (EGD) · Ethernet Powerlink · EtherNet/IP · FINS · FOUNDATION fieldbus (H1, HSE) · GE SRTP · HART Protocol · Honeywell SDS · HostLink · INTERBUS · MECHATROLINK · MelsecNet · Modbus · Optomux · PieP · Profibus · PROFINET IO · SERCOS interface · SERCOS III · Sinec H1 · SynqNet · TTEthernet · RAPIEnet	
Industrial control system	OPC DA · OPC HDA · OPC UA · MTConnect	
Building automation	1-Wire · BACnet · C-Bus · DALI · DSI · KNX · LonTalk · Modbus · oBIX · VSCP · X10 · xAP · xPL · ZigBee	
Power system automation	IEC 60870 (IEC 60870-5 · IEC 60870-6) · DNP3 · IEC 61850 · IEC 62351 · Modbus · Profibus	
Automatic meter reading	ANSI C12.18 · IEC 61107 · DLMS/IEC 62056 · M-Bus · Modbus · ZigBee	
Automobile / Vehicle	AFDX · ARINC 429 · CAN bus (ARINC 825, SAE J1939, NMEA 2000, FMS) · FlexRay · IEBus · J1587 · J1708 · Keyword Protocol 2000 · LIN · MOST · VAN	

Abbildung 12: Automatisierungs-Protokolle (Quelle: Wikipedia)

Im Vorgriff auf die späteren Abschnitte zum Internet der Dinge und zu den semantischen Technologien ist zu bemerken, dass wenige der hier im Überblick dargestellten Automatisierungsstandards „internet-fähig“ sind und sich an den von Standardisierungs-Einrichtungen wie dem World Wide Web Consortium (W3C – www.w3c.org) geschaffenen und vorgeschlagenen Standards und Protokolle orientieren. Wenn allerdings die Hypothese hält, dass das Internet im Zuge von Industrie 4.0 die Fertigungsbereiche, die Maschinenparks und die Feldebene durchdringen wird, dann wird es auch hier zu einer Annäherung bei den Standards und den Services kommen.

3.1.3 AutomationML

Die Entwicklung von AutomationML war motiviert durch eine Analyse der Kosten der gesamten Anlagensteuerungstechnik. Die Automatisierungsinitiative deutscher Automobilhersteller (AIDA) hatte 2005 herausgefunden, dass ein erheblicher Teil der Kosten auf das Engineering und dabei wiederum auf die Übertragung von Engineering-Daten von einem Tool zum anderen entfielen. Dies führte dazu, dass sich ab 2006 auf Initiative der Daimler AG ein Industriekonsortium mit der Entwicklung eines Austauschformats für die „digitale Fabrik“ beschäftigte, welches die Bezeichnung **AutomationML** erhielt. Im Jahr 2009 öffnete sich das bis dahin geschlossene Industriekonsortium durch die Gründung des Vereins AutomationML e.V.¹⁶, der sich das Ziel setzte, den Datenaustausch zwischen Engineering-Werkzeugen zu verbessern und zu vereinheitlichen. In der Folge wurden die Standardisierungsbestrebungen ausgebaut, die im Juli 2014 mit der Verabschiedung des internationalen Standards IEC 62714¹⁷ einen ersten erfolgreichen Abschluss fanden.

Bei der Entwicklung von AutomationML wurde von vornherein darauf Wert gelegt, dass „das Rad nicht neu erfunden“ wird, sondern dass auf bestehende Formate zurückgegriffen wird. So bestehen Kooperationen mit folgenden Organisationen (s. Abbildung 13):

- **Khronos Group**¹⁸: Anpassung des COLLADA Formats für die Beschreibung von Geometrie und Kinematik (COLLADA - Digital Asset and FX Exchange Schema)
- **PLCopen**¹⁹: Anpassung des PLCopen XML-Formats für die Beschreibung von Logik und Verhalten gemäß IEC 61131 (Funktionsblöcke und Ablaufdiagramme)
- **eCI@ss e.V.**²⁰: Regeln für den semantischen Austausch von Engineering-Daten
- **OPC Foundation**²¹: Entwicklung einer Struktur für die Übertragung von AutomationML Daten mittels OPC Technologien
- **ProSTEP iViP**²²: Harmonisierung der Spezifikationen von AutomationML (IEC 62714), JT (ISO 14306) und STEP AP 242 (ISO 10303-242)

AutomationML nützt und integriert auf diese Weise vorhandene Standards im Bereich der Beschreibung von Topologien, Strukturen, Attributen und Relationen, von Geometrie, Kinematik und Mechatronik, von Logik, Verhalten und Semantik, genützt und integriert.

<AutomationML/>

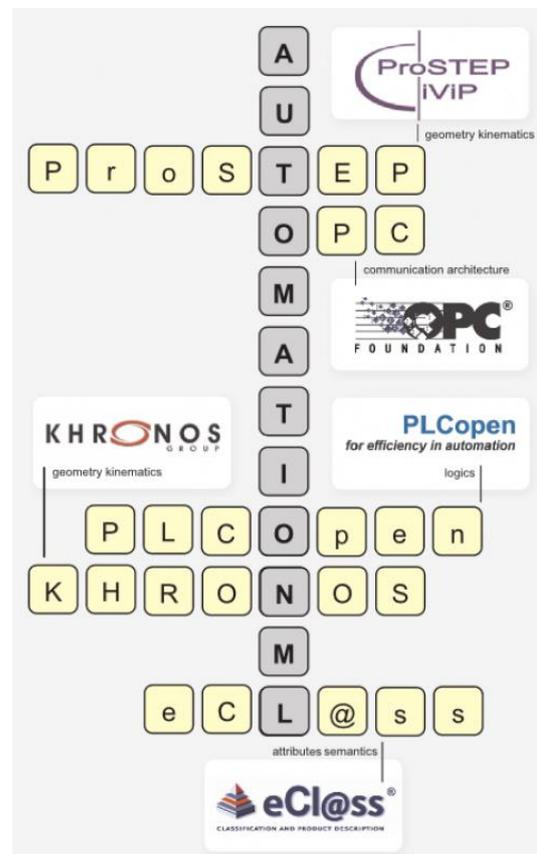


Abbildung 13: Kooperationen in AutomationML e.V.
(Quelle: www.automationml.org)

¹⁶ AutomationML e.V.: <http://www.automationml.org/>

¹⁷ IEC 62714-1 „Engineering data exchange format for use in industrial automation systems engineering - Part 1: Architecture and General Requirements“

¹⁸ Khronos Group: Standardisierungsgremium für COLLADA: <http://www.khronos.org/>

¹⁹ PLCopen: Standardisierungsgremium für XML gemäß IEC 6113: <http://www.plcopen.org/>

²⁰ eCI@ss: <http://www.eclass.de/>

²¹ ProStep iViP: <http://www.prostep.org/>

²² OPC Foundation: <http://www.opcfoundation.org/>

Die **Relevanz** von AutomationML als Austauschformat der „digitalen Fabrik“ für die Instandhaltung erschließt sich aus der in unserer Studie erhobenen Forderung nach ganzheitlichen Ansätzen für Instandhaltungsmanagement (z.B. TPM, TAM, Maintenance by Design – vgl. Abschnitt 2.4). AutomationML bietet einen integrativen Ansatz zur Beschreibung von Equipment über den Lebenszyklus hinweg und nutzt beispielsweise die von der OPC Foundation definierten Protokolle zur Übertragung der Informationen. Vor allem in der Integration mit fortschrittlichen Automatisierungsstandards wie OPC UA (vgl. den späteren Abschnitt zur Arbeitsgruppe AutomationML und OPC UA auf Seite 32) entsteht ein hohes Potenzial zu einer integrativen Sicht auf Engineering- und Betriebs- bzw. Nutzungsdaten.

3.1.4 OPC Unified Architecture (OPC UA)

OPC Unified Architecture (kurz: OPC UA) ist ein zwischen 2006 und 2009 verabschiedeter Standard (IEC 62541) für den plattformunabhängigen Datenaustausch und die Kommunikation zwischen Maschinen (M2M-Kommunikation) bzw. zwischen Maschinen und ihren Kontroll- und Steuerungssystemen. Er entwickelt den etablierten, allerdings technologisch überholten Standard OPC® („OLE for Process Control“) weiter. Die Ziele beider OPC-Standards sind im Grunde die gleichen: OPC und OPC UA bieten standardisierte Schnittstellen für den Datenaustausch in der Automatisierungstechnik. Ein Ziel dabei ist dabei, herstellerübergreifende Kommunikation zu ermöglichen.

OPC UA wird von der OPC Foundation entwickelt und propagiert (www.opcfoundation.org). Die Spezifikation erlaubt nicht nur den Transport von Maschinendaten (wie z.B. Messdaten, Prozesswerte), sondern bietet auch die Möglichkeit, diese Daten maschinenlesbar und semantisch zu beschreiben. OPC UA basiert – dies auch im Sinne einer deutlichen Weiterentwicklung gegenüber den Schwachstellen von OPC – auf einer service-orientierten Architektur (SOA – vgl. Abbildung 14) und definiert einen eigenen Kommunikations-Stack. Die Architektur bietet auf der untersten Schicht eine Transportebene und eine Ebene zur Datenmodellierung. Die Transportebene bietet ein TCP-Protokoll mit Binärcodierung (performant, optimiert) und ein auf Web-Services basierendes Protokoll. Die darauf aufbauenden Basisdienste bieten protokollunabhängige abstrakte Methodenbeschreibungen für die gesamte OPC UA Funktionalität. In den darüber liegenden Schichten der Architektur werden die Informationsmodelle zum Austausch der Maschinendaten definiert.

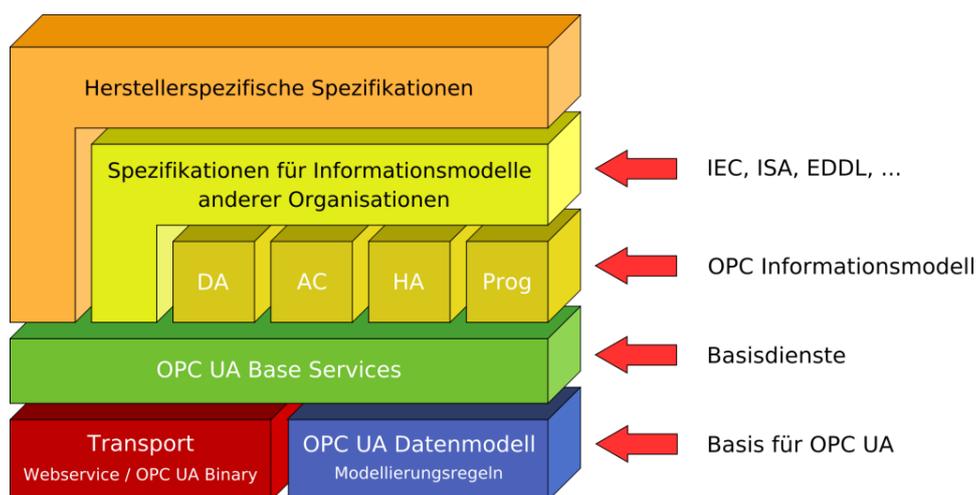


Abbildung 14: OPC UA Architektur

(Lizenziert unter CC BY-SA 3.0 über Wikipedia: © Gerhard Gappmeier - ascolab GmbH.)

Die **Relevanz** von OPC UA für die Instandhaltung ergibt sich dadurch, dass ein konzeptionell fortgeschrittener Standard für den Austausch von Maschinendaten vorliegt. Er berücksichtigt Sicherheitsstandards inhärent. Er bietet auch portable und betriebssystemunabhängige Im-

plementierungen für die Dienste. Über die Beschreibung der Informationsmodelle wird auch die schon erwähnte maschinenlesbare semantische Beschreibung der Daten ermöglicht. Als gegenwärtige Schwachstelle des Standards gilt, dass die Durchdringung des Markts mit OPC UA fähigen Lösungen derzeit noch relativ gering ist und – gegeben die langfristigen Investitionszyklen – auch für absehbare Zeit viele Anlagen und Maschinen nicht auf den neuen Standard portiert werden. Aber auch hier darf im Zuge von Industrie 4.0 Ansätzen von einer zunehmenden Durchdringung ausgegangen werden.

Arbeitsgruppe AutomationML und OPC UA

Eine gemeinsame Arbeitsgruppe²³ des AutomationML e.V. und der OPC Foundation unter Federführung des Fraunhofer-Instituts für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung (IOSB²⁴) befasst sich seit Beginn 2014 mit der Aufgabe, die Standards AutomationML und OPC UA zu vereinen. Dadurch sollen Synergien geschaffen werden und die breite Akzeptanz und Nutzbarkeit gefördert werden.

Die Arbeitsgruppe arbeitet an Anwendungsfälle, die relevant für das Asset-Management und ganzheitliche Instandhaltungsstrategien sind ([HESC14] [LÜSC2014]). Ein Beispiel ist „die Kommunikation und Operationalisierung des reinen Engineering-Beschreibungsformats AutomationML durch die Integration in ein OPC UA Informationsmodell. Dadurch können OPC UA Server Adressraummodelle basierend auf AutomationML aufgebaut werden und die Semantik, die in AutomationML beschrieben wird, in OPC UA im laufenden Betrieb genutzt werden“ (Quelle: Fraunhofer IOSB).

Die Instandhaltung wird davon in jedem Fall profitieren. Standardisierte Zugriffsprotokolle und die inhärente Beschreibung der Bedeutung von Maschinendaten erleichtern die Interpretation. Zu lösen bleiben weiterhin die in unserer Studie erhobenen Forderungen an die Verteilung der Daten. Dies ist die Aufgabe der Systeme in den oberen Ebenen der Automatisierungspyramide.

3.2 Internet of Things (IoT)

3.2.1 Einführung

Jüngste Umfragen unter den TeilnehmerInnen der Instandhaltungstage 2015 in Klagenfurt haben gezeigt, dass der Begriff „Internet of Things“ zwar im Grunde bekannt ist, dass die Auswirkungen auf die Instandhaltung aber von den Befragten (zumeist MitarbeiterInnen aus der mittleren und oberen Managementebene von Produktions- und Instandhaltungs-Abteilungen) weitestgehend unklar sind. 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 Wirtschaftslexikon²⁵). Der Begriff der Gegenstände ist dabei sehr weit gefasst und umfasst z.B. auch Thermostate, Parkuhren, Waschmaschinen, Autos, Spielzeug, Roboter, Maschinen, usw.

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 Entwicklung des Internets der Zukunft geworden. Viele andere emergente Technologie-

²³ Gemeinsame Arbeitsgruppe OPC UA und AutomationML: <http://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/46940/>

²⁴ Fraunhofer Instituts für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung (IOSB): <http://www.iosb.fraunhofer.de/>

²⁵ Gabler Wirtschaftslexikon: Definition „Internet der Dinge“: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/internet-der-dinge.html>

Trends (z.B. IPv6, Big Data, aber auch das „Industrial Internet“ bzw. „Industrie 4.0“) werden mittlerweile schon in einem Atemzug mit dem Internet of Things genannt oder gar schon als Synonyme dafür gehandelt. 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).

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 Barcode²⁶, RFID²⁷, NFC²⁸ und iBeacon²⁹ werden daher immer wieder in Verbindung mit dem „Internet of Things“ gebracht.

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 Aktuatoren mit einer zentralen Steuerungs-Einheit, sondern um die Kommunikation der Gegenstände 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“³⁰). Im Bereich der Produktion sind es Maschinen und Anlagenbestandteile, die über ihren aktuellen zukünftigen Zustand Bescheid wissen, möglicherweise auch selbst Prognosen über ihre zukünftigen Zustand machen können, und daraus bis zu einem gewissen Grad autonome Entscheidungen ableiten können (z.B. „Drehzahl reduzieren“, „Kühlung verstärken“, „Instandhaltungsmaßnahmen anfordern“).

Stellen wir uns in Bezug auf die Instandhaltung ein **Szenario** vor, in dem nicht (nur) im Zuge einer Inspektion oder nach Ablauf eines Zeitintervalls ein Instandhaltungsmaßnahme geplant wird, sondern in dem Anlagenteile selbst aufgrund ihres Zustands ihren Bedarf melden. Die Instandhaltungsplanung kommuniziert ihrerseits autonom mit der Produktionsplanung, um geeignete Zeitfenster für die Durchführung der Maßnahmen zu ermitteln und das Personal entsprechend zu informieren. Dabei soll hier nicht der Eindruck erweckt werden, dass der Mensch an den Entscheidungsprozessen nicht mehr beteiligt ist: Es geht um die Unterstützung der Verantwortlichen in komplexen cyber-physischen Systemen.

Trotz der angestrebten Autonomie benötigt das Internet der Dinge spezialisierte Dienste, in denen komplexe Steuerungs- und Analyseaufgaben zu bewältigen sind. Beispielsweise ist die Verwaltung, Speicherung und Vorverarbeitung von Daten, aber auch ihre Analyse, Visualisierung und Entscheidungsunterstützungsverfahren in solchen Diensten gebündelt.

3.2.2 IoT und Analytik: eine starke Symbiose

Das Internet der Dinge wird das erzeugte und über die Netzwerke verteilte Datenvolumen enorm ansteigen lassen. Diese Daten zu verwalten, zu interpretieren und in entscheidungsunterstützende Informationen zu transferieren stellt große Herausforderungen an die Informationstechnologie. „Big Data“ und „Analytik“ genießen demnach auch eine hohe Aufmerksamkeit und Zuwendung.

Auch im Bereich fortschrittlicher Instandhaltungsstrategien (zustandsorientierte und vorausschauende Instandhaltung) werden große Mengen an Maschinendaten und Umgebungspa-

²⁶ Wikipedia: Barcode bzw. Strichcode - <http://de.wikipedia.org/wiki/Strichcode>

²⁷ Wikipedia: RFID - <http://de.wikipedia.org/wiki/RFID>

²⁸ Wikipedia: Near Field Communication (NFC) - http://de.wikipedia.org/wiki/Near_Field_Communication

²⁹ Wikipedia: iBeacon - <http://de.wikipedia.org/wiki/iBeacon>

³⁰ Wikipedia: Software Agent – <http://de.wikipedia.org/wiki/Software-Agent>

parameter gesammelt. Analytische Verfahren in Verbindung mit (lernenden) Prognosemodellen bilden eine der technischen Voraussetzungen für Predictive Maintenance.

Ein anschauliches Beispiel dafür bildet ein **Anwendungsfall** im Bereich der erneuerbaren Energien. Das chinesische Unternehmen Envision Energy (www.envision-energy.net) betreibt ein Netzwerk von 20.000 Windturbinen. Viele dieser Turbinen sind am Meer oder in unzugänglichen Gebieten installiert. Deshalb verfügen die Windturbinen über umfangreiche Sensorik, die ein Monitoring des gesamten Netzwerks ermöglicht. Die von den Windturbinen erzeugten Daten werden laufend von einer spezialisierten Analyseplattform (ParStream IoT Analytics Platform – www.parstream.com) in zweierlei Hinsicht untersucht: Einerseits erfolgt eine Performance-Optimierung. Andererseits werden die von den Windturbinen gelieferten Daten auf Abweichungen von den normalen Mustern untersucht, um Hinweise auf Gefährdungen und Probleme zu erhalten, bevor diese tatsächlich auftreten. Dabei werden die Echtzeit-Daten mit historischen Daten verglichen und frühzeitig Instandhaltungsmaßnahmen ausgelöst. Der vollständige Bericht über den Anwendungsfall unter dem Titel „The Benefits of IoT Analytics for Renewable Energy“ sowie weitere White Papers über das Potenzial von IoT Analytik steht auf der Web-Site von ParStream³¹ zum Download zur Verfügung.



Abbildung 15: IoT Analytik für erneuerbare Energien (Quelle: ParStream / Envision Energy)

3.2.3 IoT-A – eine Referenz-Architektur für das IoT

Im Rahmen des europäischen Leuchtturm-Projekts „IoT-A“ (Internet of Things Architecture, 7. Europäisches Rahmenprogramm – www.iiot-a.eu) wurde zwischen von 2009 bis 2013 eine Referenzarchitektur für IoT-Anwendungen entwickelt. Dieses Referenzmodell wird von Alessandro Bassi u.a. in „Enabling Things to Talk - Designing IoT solutions with the IoT Architectural Reference Model“ ausführlich beschrieben [Bassi2013].



Eine Zusammenfassung der Grundidee der Referenzarchitektur IoT-A ist auch in einem im Rahmen des Projekts entwickelten Videos verfügbar (Quelle: YouTube³², Länge: ca. 4min).

Abbildung 16 zeigt ein Diagramm mit den schichtartig aufgebauten Bestandteilen (Modulen) dieser Architektur. Die Geräte werden auf der untersten Ebene im „Device Layer“ modelliert. Darüber befinden sich der „Network and Communication Layer“. In der nächsten, aus mehreren Ebenen bestehenden Schicht („Service Support and Application Support Layer“) werden die Services modelliert: In dieser Schicht liegt das Management der Geschäftsprozesse und die Modellierung der virtuellen Entität („Virtual Entity“). Die virtuellen Entitäten entsprechen im engeren Sinne dem Abbild der realen Dinge in der virtuellen Welt des IoT. Die oberste Schicht bildet die Anwendungsebene („Application Layer“) mit all ihren „smarten“ Anwendungsbereichen, von den Smart Cities über Transport (inkl. Automotive), Gebäude, Energie, Industrie, Gesundheit bis zu individuellen Lebensbereichen. Vertikale Module der Architektur bilden die Management-Funktionen und das Security-Management ab. Die von diesen Modulen bereitgestellten Funktionen sind in allen oben genannten Schichten erforderlich. Für Details zur Referenzarchitektur IoT-A verweisen wir auf [Bassi2013].

³¹ ParStream Case Study „The Benefits of IoT Analytics for Renewable Energy“ - <https://www.parstream.com/resources/>

³² Internet of Things Architecture: Video (YouTube) - <https://youtu.be/nEVatZruJ7k>

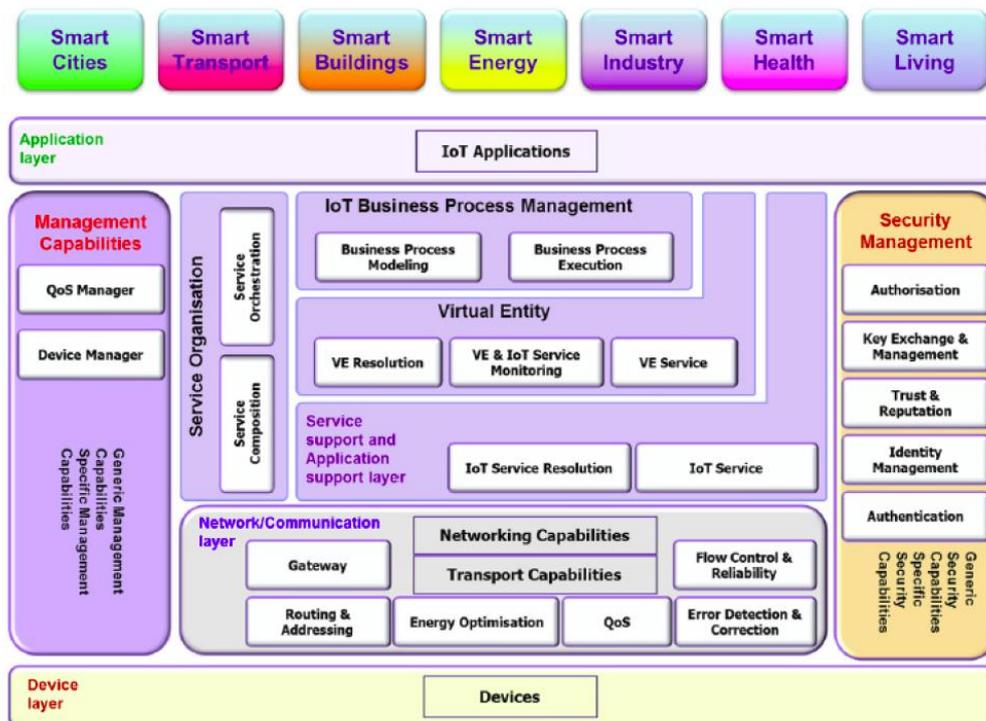


Abbildung 16: Referenz Modell Internet of Things Architecture
(Quelle: Internet of Things Architecture (IoT-A) - <http://www.ietf-a.eu/>)

Die **Relevanz** der IoT Referenzarchitektur IoT-A für die Instandhaltung ergibt sich aus zwei Aspekten:

- „Smart Industry“ – das Synonym für „Industrie 4.0“ in IoT-A – wird als einer der Anwendungsbereiche identifiziert. Darüber hinaus denkt man heute bereits über die Vernetzungen zwischen all den Anwendungsbereichen.
- Das Internet of Things wird als einer der Haupttreiber zukünftiger Wertschöpfungsprozesse gesehen. Alle namhaften Anbieter im Bereich der Produktionsplanung, Automatisierung und der „digitalen Fabrik“ (z.B: SAP, Bosch SI, Siemens, General Electric) haben ihre Strategien bereits auf das Internet of Things ausgerichtet und entsprechende Geschäftsfelder eingerichtet. Auch wenn die Konzepte erst ansatzweise in den Shop-Floor und die Instandhaltungs-Einheiten durchschlagen, ist es heute bereits unvermeidbar, sich mit den Grundkonzepten des IoT auseinanderzusetzen, um zukünftige Instandhaltungskonzepte besser zu gestalten.

3.3 Semantische Technologien

In einer Welt zunehmender Vernetzung und komplexer Interaktion bestehen hohe Anforderungen an die Interoperabilität der interagierenden Geräte und Systeme. Informations-Integration wird in cyber-physischen Systemen zu einem entscheidenden Erfolgsfaktor. Dazu leistet die Standardisierung von Datenaustauschformaten und von Protokollen einen wesentlichen Beitrag.

In der Software-Technologie – und hier speziell aus dem Bereich der Web-Technologien – hat sich ein weiteres Konzept etabliert, das die Bedeutung von Daten und Datenschemata maschinenlesbar macht: die semantischen Technologien.

Die folgenden Abschnitte dienen zur Einführung in die Begriffswelt der semantischen Technologien und stellen zwei für die Instandhaltung relevante Ausprägungen vor.

Das Thema „semantische Technologien“ war und ist Gegenstand langjähriger Forschungs-, Standardisierungs- und Entwicklungsarbeiten: Im Technologie-Radar wird die Darstellung auf wenige Teilbereiche beschränkt, die aber aufgrund der Recherchen und der im Rahmen der Studie ermittelten Anforderungen für relevant für die zukünftige Entwicklung der Instandhaltung eingeschätzt wurden. Es wird davon ausgegangen, dass im Zuge der Durchdringung der Produktionsbetriebe mit Internet-Technologien auch deren zentralen Konzepte übernommen werden. Dazu gehören Ansätze der semantischen Technologien im Bereich der Wissensrepräsentation und im Bereich von Linked Data. Weiterführende detaillierte Informationen finden sich in [BernLee2001], [Dengel2012] oder auf der Web-Site des World Wide Web Consortiums (W3C Semantic Web - www.w3.org/standards/semanticweb/)

3.3.1 Einführung

Semantische Technologien dienen dazu, die „**Bedeutung**“ von Dingen unabhängig von den sie repräsentierenden Daten zu modellieren und zu beschreiben. Der Vorteil dieser Trennung ist, dass Computer-Programme die Bedeutung erschließen können, ohne dass dieses Wissen im Anwendungs-Programm kodiert werden muss. Programme können bestimmte Eigenschaften und Schlussfolgerungen allein aufgrund der Bedeutung ableiten. Die Modellierung der Semantik erfolgt in „**Wissensmodellen**“, für die unterschiedliche Bezeichnungen gebräuchlich sind, je nach der Granularität der Beschreibung der Eigenschaften und Beziehungen (z.B. Vokabulare, Thesauri, Ontologien). Ein Beispiel für ein solches Wissensmodell zur Beschreibung von Sensor-Netzwerken wird im Abschnitt 3.3.4 vorgestellt.

Mit den Wissensmodellen führen semantische Technologien eine abstrakte Ebene zur Modellierung der Bedeutung (Semantik) ein und verknüpfen die Bedeutung dann mit den konkreten Daten. Dies hat für die Software-Entwicklung den Vorteil, dass Änderungen in den Datenschemata nicht unmittelbar eine Änderung des Anwendungscodes nach sich ziehen. Das Wissensmodell ist die gemeinsame „Referenz“ für den Informationsaustausch zwischen Anwendungen. Die Vorteile dieses Ansatzes sind eine Flexibilität bei Änderungen von Daten. Weiters wird die automatisierte Erkennung von Themen und Kategorien unterstützt und die maschinelle Erschließung von Informationen ermöglicht. Semantische Suchverfahren verbessern die Suchresultate, indem sie die Bedeutung der in die Suche miteinbeziehen.

Eine konkretes Beispiel für die Übernahme von semantischen Ansätzen im Bereich des Engineering und der Automatisierung stellt der im Technologie-Radar beschriebene Austauschformat für Engineering Daten dar: AutomationML unterstützt eine semantische Informationsmodellierung (s. Technologie-Radar Seite 30).

3.3.2 Das Semantic Web als Vorbild

In der Einleitung zu den semantischen Technologien wurde bereits darauf hingewiesen, dass Web-Technologien einer der Treiber für semantische Ansätze waren. Dort wurde im Jahr 2001 von Tim Berners-Lee der Begriff „Semantic Web“ geprägt: *„Das Semantic Web ist eine Erweiterung des herkömmlichen Webs, in der Informationen mit eindeutigen Bedeutungen versehen werden, um die Arbeit zwischen Mensch und Maschine zu erleichtern.“* (Übersetzung nach Wikipedia aus [BernLee2001]).

In der Folge wurde eine Fülle von Beschreibungsschemata und Standards entwickelt, die die Umsetzung des Grundgedanken des Semantic Web ermöglichen sollten. Nach und nach entwickelte und propagierte das World Wide Web Consortium (W3C, das „Standardisierungsgremium“ für das World Wide Web – www.w3c.org) eine Reihe von Standards, darunter u.a. das **RDF** (Resource Description Framework³³) als Vokabular zum Austausch von Aussagen, **RDFS** (RDF Schema³⁴) und **OWL** (Web Ontology Language³⁵) zur Beschreibung

³³ Wikipedia: Resource Description Framework: http://de.wikipedia.org/wiki/Resource_Description_Framework

³⁴ Wikipedia: RDF Schema - <http://de.wikipedia.org/wiki/RDF-Schema>

³⁵ Wikipedia: Web Ontology Language - http://de.wikipedia.org/wiki/Web_Ontology_Language

von Vokabularen und Wissensmodellen, sowie **SPARQL**³⁶ als Abfragesprache. Nach und nach entwickelten sich auch in verschiedenen Anwendungsbereichen konkrete Wissensmodelle und Ontologien. Aber trotz aller Forschung setzte sich das Semantic Web aufgrund der Komplexität der Modelle praktisch nicht wirklich durch. Eine Abhilfe wurde durch eine Reduktion der Komplexität geschaffen: Mit „Linked Data“ und dem daraus abgeleiteten „Web of Data“ konnte sich das Konzept der semantischen Technologien im World Wide Web schließlich doch durchsetzen.

3.3.3 Linked Data

„Linked Data“ beschreibt einen Ansatz zur Vernetzung von Daten über das Internet hinweg. Sind die so vernetzten Daten öffentlich zugänglich, spricht man von „**Linked Open Data**“. Eine Fülle von weiterführenden Informationen zu Linked Data bietet u.a. die von Tom Heath als Informationsquelle der Linked Data Community eingerichtete Web-Site linkeddata.org.

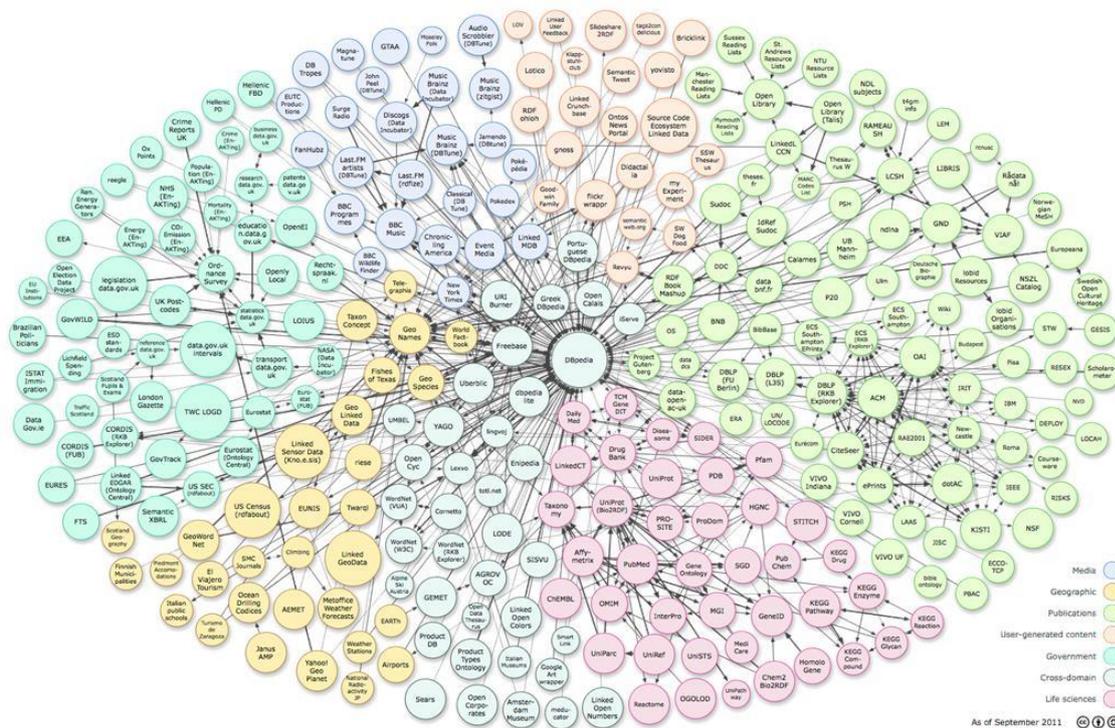


Abbildung 17: Linked Open Data Cloud

(Quelle: Richard Cyganiak and Anja Jentzsch, 2011 - <http://lod-cloud.net/>)

Die Grundidee von Linked Data besteht darin, strukturierte Daten mit Hilfe von semantischen Technologien und Semantic Web Ansätzen zugänglich zu machen und untereinander zu verknüpfen. Linked Data stellt also innerhalb eines Unternehmensnetzwerks oder im Internet Datenquellen als „gemeinsame Wissensbasis“ zur Verfügung. Die so verknüpften Datenquellen bilden das „Web der Daten“ („**Web of Data**“). Gegenwärtig hat sich eine Vielzahl von Datenquellen im „Web der Daten“ etabliert und wird von Anwendungen als gemeinsame Referenz und Wissensquelle genutzt. Abbildung 17 zeigt den Stand offener Linked Data Quellen und deren „Verlinkung“ untereinander mit Stand September 2011³⁷. Die unterschiedlichen Farben stellen die Anwendungsbereiche der Datenquellen dar.

³⁶ Wikipedia: SPARQL - <http://de.wikipedia.org/wiki/SPARQL>

³⁷ Aufgrund der zunehmenden Anzahl der Datenquellen und der damit verbundenen Komplexität der Darstellung wurde das Diagramm der Linked Open Data Cloud nach September 2011 nicht mehr aktualisiert.

Die **Grundprinzipien von Linked Data** wurden 2006 von Tim Berners-Lee in den „Linked Data Design Issues“ veröffentlicht ([BernLee2006]) und umfassen vier Regeln:

1. Zur Bezeichnung von Ressourcen (Datenobjekte) sind eindeutige Identifikationen zu verwenden (URIs = „Uniform Resource Identifier“).
2. Diese URIs müssen über das Protokoll http nachgeschlagen werden können.
3. Wenn jemand eine URI nachschlägt, sind „zweckdienliche Informationen“ bereitzustellen (vorgeschlagen werden die Semantic Web Standards RDF für den Datenaustausch und SPARQL für die Abfrage).
4. Eine Verlinkung Datenobjekte wird empfohlen: über eine URI der Zu diesen Informationen gehören insbesondere Links auf andere URIs, über die weitere Objekte entdeckt werden können.

Beispielsweise stellt **GeoNames** eine geografische Datenquelle zur Verfügung, auf der weltweit geografische Bezeichnungen (u.a. Typologie, hierarchische Beziehungen, mehrsprachige Namen) und deren Position bereitgestellt werden. Eine solche Quelle kann (potenziell) von allen Anwendungen angesprochen werden, die Ortsbezeichnungen und deren Positionen verwenden wollen (www.geonames.org).



Ein weiteres Beispiel stellt **DBpedia** dar: Diese im Bereich der Linked Open Data zentrale Datenquelle bildet das gesamte Wissen von Wikipedia in strukturierter Form ab und enthält Kategorien, Typologien sowie eine umfassende semantische Repräsentation der Wikipedia-Artikel (www.dbpedia.org).



Auch wenn der „Linked Data“ auf einem web-basierten Ansatz beruht und ein offener Zugang zu den Datenquellen stark propagiert wird, sind die Prinzipien auch auf unternehmensweite Netze (z.B. Intranet, „Corporate Web“, „Enterprise Daten-Web“) übertragbar, was in vielen Fällen die Herausforderungen an die Verfügbarkeit, die Sicherheit und das Vertrauen in die Datenquellen.

Das europäische Forschungsprojekt „ComVantage“ (vgl. das Forschungs-Radar auf Seite 43) schafft beispielsweise ein auf Linked Data Prinzipien basierendes Datenraum für die Zusammenarbeit in der digitalen Fabrik und über die Unternehmensgrenzen hinaus entlang der Versorgungsketten. Dabei wurden auch Sicherheitskonzepte für den Schutz von Daten vor ungewollten und unerlaubten Zugriff implementiert. Der in ComVantage propagierte produkt-zentrierte Ansatz schafft einen Datenraum („Linked Data in Collaboration“), der in einem Anwendungsszenario für mobile Instandhaltung umgesetzt wurde.

3.3.4 Semantic Sensor Network Ontology

Als Beispiel für ein im Instandhaltungsbereich relevantes semantisches Wissensmodell wird in diesem Abschnitt die „Semantic Sensor Network Ontology“ (kurz: „SSN Ontology“) dargestellt, die von der „SSN Incubator Group“ des World Wide Web Consortium entwickelt und 2011 vorgestellt wurde: Der Abschlussbericht der Arbeitsgruppe ist auf der Web-Site des W3C³⁸ verfügbar.

Die SSN Ontologie modelliert alle für den Betrieb von semantischen Sensor-Netzwerken wesentlichen Informationsobjekte und deren Beziehungen. Das Ziel der Arbeitsgruppe bestand in der Entwicklung der Ontologie, die bestehende Standards – so etwa die „Sensor Web Enablement“ (SWE) Standards des Open Geospatial Consortium (OGC™) – berücksichtigt und an bestehenden grundlegenden ontologischen Modellen (z.B. DOLCE UL Ontology) angelehnt ist. Abbildung 18 gibt einen Überblick über die Konzepte der SSN Ontology. Darin werden vier grundsätzliche Perspektiven auf Sensoren und den Mess- bzw. Beobach-

³⁸ World Wide Web Consortium (W3C): Semantic Sensor Network XG Final Report - <http://www.w3.org/2005/Incubator/ssn/XGR-ssn/>

ungsprozess unterstützt: eine Sensor-orientierte, eine Beobachtungs-orientierte, eine System-orientierte und eine Eigenschafts-orientierte Perspektive. Diese Perspektiven ermöglichen je nach Anwendungsschwerpunkt unterschiedliche Betrachtungsweisen auf die Prozesse, Geräte und Messwerte in Sensor-Netzwerken.

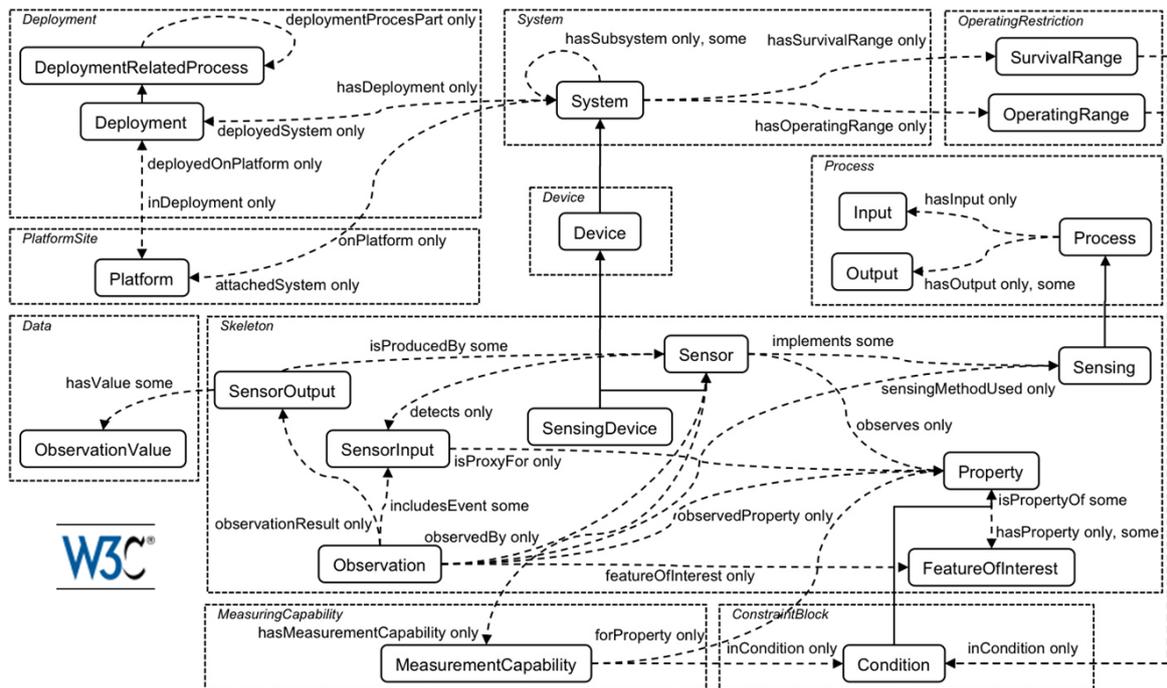


Abbildung 18: Semantic Sensor Network Ontology: Klassen und Properties

(Quelle: W3C Semantic Sensor Network Incubator Group - www.w3.org/2005/Incubator/ssn/)

Ohne hier auf die Entwurfsgrundsätze dieses Wissensmodells detailliert einzugehen, kann die SNN Ontology als eine solide Basis für die Anwendungsentwicklung von Sensor-Netzwerken betrachtet werden. Insbesondere im Bereich des Internet of Things können Anwendungsentwickler bereits jetzt zukunftssichere Lösungen an diesem Wissensmodell ausrichten. Die Instandhaltung wird mittelbare Nutznießer solcher Entwicklungen sein.

4 Forschungs-Radar

Das Forschungs-Radar bietet einen Überblick über die für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Bereich der Instandhaltung 4.0 relevanten Forschungsprogramme (Österreich, Deutschland und EU im Überblick). In Ergänzung zu diesem „Blick auf die Forschungslandkarte“ wird eine Auswahl von aktuellen Forschungsvorhaben speziell im Hinblick Aspekte der Informations-Integration in zukünftigen Produktions- und Instandhaltungsprozessen detaillierter dargestellt. Ziel dieses Abschnitts ist es, einen Überblick über die im Bereich der Forschung verfolgten Fragestellungen und die Beteiligungsmöglichkeiten zu geben.

4.1 Blick auf die Forschungslandkarte

4.1.1 Thematische Programme

In der österreichischen Forschungslandschaft bilden zwei thematische Programme die Eckpfeiler für IKT-bezogene und produktionsorientierte Forschung: Es sind dies die FTI-Initiativen „IKT der Zukunft“ und „Produktion der Zukunft“. Gerade die zuletzt laufenden Ausschreibungen in diesen Programmen haben explizit Instandhaltungs-relevante Themen angesprochen und führten – wie die Kurzzvorstellung der laufenden Forschungsaktivitäten im Abschnitt 4.2 zeigt – auch zu einer Reihe von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Bereich der Instandhaltung. Auch die gegenständliche Sondierungsmaßnahme „Instandhaltung 4.0“ wird im Rahmen der FTI-Programms „Produktion der Zukunft“ durchgeführt und gefördert.

4.1.2 Kompetenzzentren (COMET)

Neben den thematischen Programmen finden die produktions- und instandhaltungsorientierte Forschung in den Strukturprogrammen (hier insbesondere im COMET-Programm) und in den Basisprogrammen ihren Niederschlag. Zwei K2-COMET-Zentren haben ihre Forschungsschwerpunkte im Bereich der Mechatronik (LCM) und im Bereich der Automotive (ViF).

Die „Linz Center of Mechatronics GmbH“ (LCM)³⁹ beherbergt einen K2-Bereich für die wissenschaftliche Forschung (dieser wurde ursprünglich unter der Bezeichnung „Austrian Center of Competence in Mechatronics (ACCM)“ eigenständig geführt, später dann aber ins LCM integriert), dessen Erkenntnisse durch LCM und/oder die Kunden von LCM direkt in fertige Produkte umgesetzt werden. LCM begleitet seine Kunden entlang der gesamten Innovationskette bis zum fertigen Produkt.

Das „Kompetenzzentrum - Das virtuelle Fahrzeug, Forschungsgesellschaft mbH“ (kurz als „Virtual Vehicle Competence Center“ oder „Virtual Vehicle“ bezeichnet, V2C2)⁴⁰ ist ein international aktives Forschungszentrum (COMET-K2), das Technologien für leistungsfähige, sichere und umweltfreundliche Fahrzeuge für Straße und Schiene entwickelt. Die Kernexpertise am Zentrum bildet die Verknüpfung von numerischer Simulation und experimenteller Absicherung sowie eine umfassende Systemsimulation bis hin zum Gesamtfahrzeug.

4.1.3 Zukunftsprojekt Industrie 4.0

In der benachbarten Bundesrepublik Deutschland im Umfeld des „Zukunftsprojekts Industrie 4.0“ eine Vielzahl von Forschungs- und Entwicklungsinitiativen. Dazu ist anzumerken, dass die Beteiligungsmöglichkeiten österreichischer Organisationen eher als eingeschränkt zu beurteilen sind.

³⁹ Linz Center of Mechatronics GmbH (LCM): <http://www.lcm.at/>

⁴⁰ Virtual Vehicle Competence Center (V2C2): <http://www.v2c2.at/>

Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0

Der im April 2013 erschienene strategische Bericht „Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0“ (acatech, [Kager2013]) enthält zwei aus der Sicht der Instandhaltung relevante Beispiele:

Auf Seite 69 der Umsetzungsempfehlungen wird das Anwendungsbeispiel „**Telepräsenz**“ dargestellt, in dem Produktionssysteme als „Social Machines“ mit einer Cloud-basierten Telepräsenz-Plattform verbinden, um sich dort die für Remote-Services benötigten Experten zu „suchen“.

Ab Seite 107 der Umsetzungsempfehlungen wird das Anwendungsszenario (Use Case) „**Intelligentes Instandhaltungsmanagement**“ dargestellt. Im Folgenden wird aus dem Bericht der acatech den ersten Teil der Beschreibung des Szenarios zitiert.

Kein ungeplanter Stillstand durch rechtzeitige Wartung bei Nennbetrieb: Mittels intelligenter, kostengünstig nachrüstbarer Sensorik können Daten über Lasten und Maschinenzustände in Echtzeit erfasst werden. Anhand dieser Daten können mit entsprechenden Algorithmen in Kombination mit lastabhängigen Zuverlässigkeitsanalysen detaillierte Prognosen über das Ausfallverhalten kritischer Komponenten erstellt werden. Diese Interaktionen ermöglichen den Mitarbeitern eine optimierte Instandhaltungseinsatzplanung und Ersatzteilbereitstellung. Komponentenabhängig kann die ideale Servicestrategie abgeleitet und konfiguriert werden. Ressourcen werden effizient eingesetzt und geschont. Ungeplante Stillstände werden reduziert und das betroffene Instandhaltungs- und Betriebspersonal unterstützt. (Quelle: [Kager2013])

Smart Maintenance for Smart Factories

An dieser Stelle sei auch auf eine gegenwärtig in der benachbarten Bundesrepublik Deutschland gestartete Initiative zur Entwicklung eines Positionspapiers mit der Bezeichnung „Smart Maintenance for Smart Factories“ hingewiesen, mit der das Projektteam von „Instandhaltung 4.0“ im Austausch stand. Am 23.-24. April 2015 bildet „Smart Maintenance for Smart Factories“ das Schwerpunktthema des InstandhaltungsForums⁴¹ des Lehrstuhls für Unternehmenslogistik an der Technischen Universität Dortmund, die von der Hypothese ausgeht, dass „die Instandhaltung eine wesentliche Voraussetzung für den Erfolg der vierten industriellen Revolution ist“. Denn nur durch innovative Instandhaltungskonzepte einer „Smart Maintenance“ sei eine „Smart Factory“ realisierbar (aus dem Programm des InstandhaltungsForums 2015).

Als Kontaktpersonen zur Entwicklung des für Herbst 2015 angekündigten Positionspapiers fungieren Dr. Thomas Heller (Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik, IML⁴²) und Dr. Jens Reichel (VDI Fachausschuss Instandhaltung⁴³).

4.1.4 Europäisches Rahmenprogramm: Horizon 2020

Im Gegensatz dazu sind die Beteiligungsmöglichkeiten österreichischer Einrichtungen im 8. Europäischen Rahmenprogramm für Forschung und Innovation⁴⁴ („Horizon 2020“) gegeben und werden von den Unternehmen auch im Bereich der Produktionstechnologien genutzt. Eine der Säulen im Rahmenprogramm bildet der Bereich „Industrial Leadership“⁴⁵, im Rahmen dessen die Entwicklung von Schlüsseltechnologien (u.a. im Bereich „Advanced Manufacturing“) und Innovationen für Klein- und Mittelunternehmen speziell gefördert werden. Nach dem Start von „Horizon 2020“ im Jahr 2014 nehmen nun auch erste erfolgreiche Projektinitiativen – etwa im Bereich „Factories of the Future (FoF)“ – ihre Arbeit auf.

⁴¹ InstandhaltungsForum (Dortmund): <http://www.lfo.tu-dortmund.de/instandhaltungsforum>

⁴² Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML: <http://www.iml.fraunhofer.de/>

⁴³ VDI Fachausschuss Instandhaltung: <http://bit.ly/1HbZVvD>

⁴⁴ Horizon 2020: <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/>

⁴⁵ Horizon 2020 - Industrial Leadership: <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/industrial-leadership>

4.2 Ausgewählte Forschungsvorhaben

Die folgenden Abschnitte stellen eine Auswahl von aktuellen und für die Instandhaltung 4.0 relevanten Forschungsvorhaben vor. Es ist uns bewusst, dass wir aufgrund der zunehmenden Dynamik im Umfeld von Industrie 4.0 nicht alle Initiativen darstellen können, die Forschungsaspekte für die Instandhaltung beinhalten: Einerseits sind die Informationen über die Projektvorhaben nicht immer öffentlich zugänglich. Andererseits sind relevante Instandhaltungsfragen hinter anderen Themen (Produktion, Automatisierung, usw.) versteckt.

Der Dank gilt hier den KoordinatorInnen und AnsprechpartnerInnen für die Bereitstellung der Informationen.

4.2.1 ASSIST 4.0

Kontextbasierte mobile Assistenzsysteme für die Industrie 4.0 (Assist 4.0)

Partner	Knapp AG (Koordinator), Infineon Technologies Austria AG, AVL List GmbH, evolaris next level GmbH, Research Studios Austria Forschungsgesellschaft mbH, Paris-Lodron-Universität Salzburg, XiTrust Secure Technologies GmbH
Fördergeber	FFG, Produktion der Zukunft
Laufzeit	Januar 2014 bis Juni 2016
Projektvolumen	Ca. 3 Mio. Euro

Kurzbeschreibung



Das Projekt Assist 4.0 zielt auf die Entwicklung von mobilen kontextbasierten Assistenzsystemen für eine Industrie 4.0 ab. Hierzu verfolgen die Partner folgende Ziele:

- Aktive Entscheidungsunterstützung der Produktions- und Service-MitarbeiterInnen durch ein multimodales Assistenzsystem,
- Maximierung des Schnittstellenpotentials in der Mensch-Maschine-Interaktion für eine Produktion 4.0,
- Entwicklung von Informationsmodellen zur Umwandlung von Daten, Informationen und Ereignissen in kontextbasierte Entscheidungen.

In einer intelligenten Produktion der Zukunft kommunizieren Menschen, Maschinen und Ressourcen so selbstverständlich wie in einem sozialen Netzwerk (vgl. DFKI, 2012). Die vernetzte Produktion erfordert daher kontext-sensitive, echtzeitfähige Informationen und Visualisierungen für die Produktions-MitarbeiterInnen bei gleichzeitig (teil-)automatisierten Produktionsabläufen (smart services). IKT-Technologien erlauben im Zuge der Vernetzung zu einem Internet der Menschen, Dinge, Dienste und Daten ein echtzeitfähiges Abbild der Produktion. Autonome Objekte, mobile Kommunikation und Echtzeit-Sensorik erlauben neue Paradigmen der dezentralen Steuerung und Ad-hoc-Gestaltung von Prozessen. Eine neue Generation von industriellen Assistenzsystemen in der Produktion 4.0 muss daher mobil, multimodal, lokationsbasiert, personalisiert, kontext-adaptiv und prädiktiv sein. 73 % von über 600 führenden deutschen Industrieunternehmen erkennen bereits heute (laut Fraunhofer IAO-Studie, 2013) ein hohes Potential beim Einsatz von mobilen Endgeräten bei der Nutzung von aktuellen Produktionsdaten (z.B. SCADA).

Dies erfordert multimodale Mensch-Maschine-Interaktionskonzepte (HMI): von touch- und screenbasierter Interaktion, über intuitive visuelle Oberflächen, Navigation und Bedienelemente, Sprach- und Ges-

tensteuerung sowie Eyetracking bis hin zur automatischen Erkennung von Gesichtsausdrücken und Körpersprache. Am Massenmarkt verfügbare Ausgabegeräte und speziellen Anforderungen entsprechende Rugged Mobile End-Devices: Smartphones, Tablets, Head-Mounted-Displays (HMDs)/Datenbrillen sowie deren User Interfaces müssen für eine Mehrheit designed werden und sich benutzergerecht an User-Gruppen anpassen: u.a. SeniorInnen, Trainees, benachteiligte Personen, Vorgesetzte.

Lokationsbasierte industrielle Assistenzsysteme müssen eine eindeutige räumliche und zeitliche Identifikation von Objekten und Personen im Produktionsablauf ermöglichen (u.a. Indoor GPS, RFID-Systeme, Ultra Infrarot, optische Bild- und Objekterkennung). Augmented- und Mixed-Reality-Technologien (z.B. auf Basis von dreidimensionalen CAD-Modellen) erlauben mobiles, interaktives und situationsgerechtes In-Situ-Lernen für Anfänger und Fortgeschrittene, sowie Wissensskalierung und Lernen auf allen Ebenen.

Die Integration und Analyse von ERP- (Enterprise Resource Planning) und MES- (Manufacturing Execution System) Daten ermöglicht u.a. eine vorrauschauende Wartung und Ersatzteillagerhaltung (predictive maintenance), verringert die „Time-to-fix“ und vermeidet kostspielige Produktionsstillstände & -verzögerungen.

Wesentliche Querschnittsaspekte von Assist 4.0 sind die Akzeptanz und das benutzergerechte Design der Technologien, die dem Menschen in Form eines Instant Decision Support Systems zur Verfügung gestellt werden sollen sowie die Sicherheit (Safety, Security, Privacy) der zu entwickelnden Lösungen.

Kontaktperson Peter Brandl (peter.brandl@evolaris.net), evolaris next level GmbH
www <http://www.evolaris.net/project/assist-4-0/>

4.2.2 ComVantage

Collaborative Manufacturing Network for Competitive Advantage (ComVantage)

Dieses mittlerweile abgeschlossene Forschungsprojekt liefert technologisch fortschrittliche Lösungsansätze für die Verwendung von semantischen Technologien in vernetzten Produktionsumgebungen. Wir empfehlen für eine praxisnahe Einführung insbesondere den Besuch der Ergebnispräsentation und der Demos (www.comvantage.eu/results/).

Partner	SAP AG (Koordinator), Dresscode21 GmbH, Universitaet Wien, Kolsch & Altmann Software & Management Consulting GmbH, Technische Universitaet Dresden, RST Industrie Automation GmbH, BOC Business Objectives Consulting Iberica SLU, NEXTEL SA, Asociacion De Empresas Tecnologicas Innovalia, Evidian SA, Ben-Gurion University Of The Neg- ev, COMAU SPA, Innovation Service Network Podjetnisko In Poslovno Svetovanje Doo
Fördergeber	Europäische Kommission, FP7, Factories of the Future (Call Identifier: FP7-2011-NMP-ICT-FoF)
Laufzeit	September 2011 bis August 2014
Projektvolumen	ca. 11 Mio. €
Kurzbeschreibung	ComVantage entwickelt eine Umgebung zur Zusammenarbeit („collaboration space“), sodass man von einem auf die Organisation ausgerichtete-



ten Produktionsprozess zu einem Produkt-zentrierten Ansatz kommt. Auf diese Weise können Produktionsunternehmen als eine virtuelle Fabrik zusammenarbeiten und Wettbewerbsvorteile in ihren Märkten erzielen. Basierend auf Web 2.0 Technologien wird der Collaboration Space zu einer Erweiterung existierender Geschäftsprozess- bzw. Engineering-Lösungen. Dies erlaubt eine dezentrale, gemeinsame Nutzung, Administration und Kontrolle von Produktdaten über den Lebenszyklus. Gegenwärtige Trends wie Offene Innovation und „Crowd Sourcing“ werden durch die enge Verschränkung von B2B und B2C unterstützt.

Die Software-Umgebung der virtuellen Fabrik wird auch sichere Zugangskontrolle gewährleisten, die für dynamische Arbeitsprozesse und flexible Nutzerrollen in großen Unternehmen ebenso unerlässlich ist, wie in KMUs oder für End-Konsumenten. Dies wird die ad-hoc Zusammenarbeit zwischen räumlich weit entfernten Experten ermöglichen. ComVantage legt den Schwerpunkt auf mobile Endgeräte, da dies den derzeitigen Anforderungen nach effizienter Kommunikation und Interaktionsmöglichkeiten am besten entspricht. Intuitiv zu bedienende, vertrauenswürdige mobile Applikationen unterstützen den Nutzer bei schnellen Entscheidungen und bei der Lösung anstehender Probleme. Die Kombination unterschiedlicher Nachrichtenkanäle ist über den Linked-Data Ansatz möglich. Durch die Integration von Sensordaten werden auch Endprodukte über den Collaboration Space zugänglich.

ComVantage ermöglicht effektive Kommunikation, agile und effiziente Produktionsprozesse, bessere Kostenkontrolle und Umweltverträglichkeit.

Ansprechpartner Prof. Dr.-Ing. Leon Urbas (leon.urbas@tu-dresden.de), TU Dresden (Institut für Automatisierungstechnik)

www www.comvantage.eu

4.2.3 IMP

Intelligent Maintenance Planner & Inspection Knowledge Based Maintenance Management Systems (IMP)

Partner	Ing. Punzenberger COPA-DATA GmbH (Koordinator), Profactor GmbH, Fachhochschule Salzburg GmbH
Fördergeber	FFG – IKT der Zukunft
Laufzeit	Oktober 2014 – September 2016
Projektvolumen	ca. 670.000 €
Ausgangssituation / Problematik	Die Wettbewerbsfähigkeit von produzierenden Unternehmen wird zunehmend von der Anlagen- und Systemverfügbarkeit bestimmt. Aus diesem Grund kommt einer effizient und qualitativ hochwertig durchgeführten Wartung eine immer größer werdende Bedeutung zu. Stillstandszeiten müssen sowohl bei Störungen (ungeplant) als auch bei vorbeugenden Wartungstätigkeiten (geplant) durch rasches und perfektes Reagieren minimal gehalten werden. Das bedeutet, die richtigen Maßnahmen zur richtigen Zeit mit den richtigen Mitteln und ohne Nachbessern umzusetzen. Aufgrund der zunehmenden Systemkomplexität wird es allerdings immer schwieriger, Anzeichen für den Bedarf

an vorbeugenden Wartungsmaßnahmen zu erkennen sowie den bestmöglichen Zeitpunkt und den idealen Wartungsumfang abzuleiten. Wartungen müssen in weiterer Folge hinsichtlich der Verfügbarkeit erforderlicher Qualifikationen, der Einhaltung von Randbedingungen und Zielvorgaben (z. B. Kosten) verplant und zeitlich exakt gesteuert werden. Beim Erkennen von Abweichungen zum Plan (z. B. zusätzliche Umfänge, längere Dauer, Probleme während der Behebung) muss unmittelbar korrigiert und erneut geplant werden. Aufgrund der Vielfalt von Wartungsumfängen sowie der Tatsache, dass viele Wartungsfälle immer seltener auftreten, entwickeln sich Wartungstätigkeiten immer mehr zu Unikataufgaben. Dies bedeutet, dass Wartungs-MitarbeiterInnen immer weniger Routine aufbauen können und häufiger bei Ihren Tätigkeiten vor Ort auf Neuland stoßen. Gleichzeitig verhindert der steigende Zeitdruck, dass sich MitarbeiterInnen ausführlich auf Wartungsaufgaben (z. B. durch Einlesen) vorbereiten können.

Ziele / Methoden	<p>Ziel ist die Entwicklung von Methoden zur Optimierung der Wartungsabwicklung für zukünftige Hochleistungsproduktionssysteme. Folgende methodische Schwerpunkte stützen das Projekt:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) Verfahren zur automatischen Detektion und Klassifikation von Wartungsumfängen aus der Analyse von Maschinen- und Betriebsdaten sowie der Interpretation von erkannten Abweichungen. (2) Methoden zur automatischen Auflösung von Wartungsumfängen in Arbeitsfolgen und Arbeitsanweisungen aus abgespeicherten Templates. (3) Zeitliche Verplanung der Arbeitsfolgen unter Berücksichtigung der benötigten Ressourcen (z. B. Qualifikationen), der einzuhaltenden Randbedingungen (z. B. Arbeitszeiten, Schichtmodelle, Terminvorgaben) sowie von Zielvorgaben (z. B. Prioritäten, Kostenfaktoren, Strategien). Auslösen der Umfänge und Planungskorrektur bei erkannten Abweichungen (z. B. Verzögerungen durch Probleme). (4) Intuitive Anleitung der MitarbeiterInnen bei der effizienten Ausführung ihrer Tätigkeit im Sinne eines Assistenzsystems durch Technologien wie der Augmented Reality. (5) Qualitätssicherung und Prüfung der durchgeführten Tätigkeiten durch visuelle Inspektion und Datenfusion mit Betriebsdaten. Einsatz von 3D-Objekterkennung und -verfolgung zur Inline-Prüfung von Vorgängen und automatisierten Korrekturanweisungen beim Erkennen von Abweichungen. (6) Erlernen neuer Arbeitsanweisungen aus der Beobachtung und Interpretation erfolgreich durchgeführter Tätigkeiten. <p>Als Use Case für die Evaluierung und die iterative Verbesserung der entwickelten Methoden und Verfahren dient die Wartung komplexer Maschinen und Anlagen.</p>
Ergebnisse / Erkenntnisse	<p>Die im Projekt entwickelten Methoden und Verfahren liefern die Grundlage für zukünftige Wartungsassistenzsysteme sowie einen Proof of Concept. Als wesentliche Erkenntnisse lassen sich die Handhabbarkeit, Anwendbarkeit und Robustheit der gewählten Verfahren anführen.</p>
Kontaktperson(en)	<p>Reinhard Mayr (reinhardm@copadata.at), Ing. Punzenberger COPA-DATA GmbH</p>
www	<p>n.a.</p>

4.2.4 Instandhaltung 4.0

Sicherung der Produktqualität und Anlagenverfügbarkeit durch einen echtzeitbasierten Instandhaltungs-Leitstand (Instandhaltung 4.0)

Dieses Projekt wählte als Kurzbezeichnung die gleiche Bezeichnung wie die gegenständliche Sondierungsmaßnahme „Instandhaltung 4.0“.

Partner Technische Universität Wien (Institut für Managementwissenschaften, Institut für Fertigungstechnik und Hochleistungslasertechnik), Opel Wien GmbH, Montanuniversität Leoben, Pimpel GmbH

Fördergeber FFG, Produktion der Zukunft

Projektdauer April 2014 - April 2017

Kurzbeschreibung



Das Forschungsprojekt „Instandhaltung 4.0“ adressiert die Herausforderungen einer modernen Instandhaltung und fördert somit ein wertschöpfungsorientiertes Instandhaltungsmanagement zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit. Ergebnis ist ein Instandhaltungs-Leitstand für Produktionsanlagen, der Ausfallzeitpunkte der Anlage durch Verknüpfung von Echtzeit-Maschinensteuerungsdaten prognostizieren und bereits während der Produktion Qualitätsabweichungen erkennen kann. Der Leitstand basiert auf einer antizipativen Instandhaltungsstrategie. Diese gewährleistet die Produktqualität und erhöht die Anlagenverfügbarkeit bei gleichzeitig geringeren Instandhaltungskosten. Auch Qualitäts- und Produktionskosten können reduziert werden. Durch Übertragung realer Produktdaten auf einen Simulator und die Belastungsmessung über eine CAD/CAM-Lösung werden verschleißverursachende Fertigungsbedingungen sichtbar, ohne dass in die Produktion eines Unternehmens eingegriffen werden muss.

Der entwickelte Instandhaltungs-Leitstand ist sowohl ein Beispiel für die Mensch-Maschinen-Interaktion als auch für den Einsatz von Planungs- und Simulationswerkzeugen. Die Verknüpfung verschiedener Daten stellt die Voraussetzung zur Realisierung der Vision einer „Null-Fehler-Produktion“ dar.

Projektziele Entwicklung eines echtzeitbasierten Instandhaltungs-Leitstands zur Sicherung der Produktqualität und Anlagenverfügbarkeit

Lösungsansatz

- Entwicklung eines integrativen Instandhaltungsansatzes zur Prognostizierung von Ausfallzeitpunkten von Produktionsanlagen
- Entwicklung eines Instandhaltungs-Leitstandes zur Erkennung von Qualitätsabweichungen während der Produktion durch Verknüpfung von Echtzeit-Maschinensteuerungsdaten
- Mensch-Maschine-Interaktion in Echtzeit durch einen Instandhaltungs-Leitstand

Effekte

- Wettbewerbsvorteil durch erhöhte Verfügbarkeit der Anlagen und gleichzeitig erhöhter Produktqualität
- Reduzierte Instandhaltungsaufwände und steigende Ressourceneffizienz

Kontaktperson Univ.-Prof. Dr. Kurt Matyas (matyas@imw.tuwien.ac.at), TU Wien (Institut für Managementwissenschaften)

www www.fraunhofer.at/de/pl/forschung/kooperationsprojekte/instandhaltung-4-0.html

4.2.5 PROSAM

Intelligent fault prognosis systems for anticipative maintenance strategies (PROSAM)

Partner Software Competence Center Hagenberg GmbH (Koordinator), H&H Systems Software-Entwicklungs- und VertriebsgmbH, Messfeld GmbH, weitere assoziierte Partner (Anwender)

Fördergeber FFG – IKT der Zukunft

Laufzeit Dezember 2014 bis Mai 2017

Projektvolumen ca. 585.000 €

Kurzbeschreibung Das Projekt PROSAM wird dazu beitragen, durch *innovative antizipative Instandhaltungsstrategien (AIH)* die Wirtschaftlichkeit und *Systemverfügbarkeit von Produktionsanlagen nachhaltig zu optimieren* und geht dabei über rein korrigierende Maßnahmen hinaus. Wesentliche Komponenten eines solchen Systems stellen *Zustandsüberwachung und -diagnostik, längerfristige Störungsprognose* sowie eine *optimale Integration mit Instandhaltungssystemen* dar. Das enorme (ökonomische) Potential solcher Ansätze wird bei großen industriellen Anlagen mit sechs- bis siebenstelligen Eurobeträgen an jährlichen Einsparungen beziffert.

Die Zuverlässigkeit der notwendigen *längerfristigen Störungsprognostik und einer expliziten Restlebensdauerschätzung* hängt wesentlich von der Berücksichtigung von verfügbaren Condition Monitoring- und Prozessdaten ab. Nur durch eine längerfristige Sicht kann es zu einer ökonomisch wirksamen Optimierung der Instandhaltungsintervalle, *besserer Ausnutzung von Ressourcen und Komponenten*, und somit zu einer Kostenreduktion und *gesteigerten Systemverfügbarkeit* kommen. Zusätzlich trägt eine *Kopplung von Störungsprognostik mit Instandhaltungssystemen* wesentlich zur Qualitätssicherung bei.

Die Umsetzung einer solchen übergreifenden *antizipativen Instandhaltungsstrategie* wird durch die immer bessere Verfügbarkeit von zustandsrelevanten Prozess- und Sensordaten in steigendem Maße unterstützt. Trotz des erheblichen Optimierungspotentials sind solche antizipativen Instandhaltungsstrategien *in der industriellen Anwendung nur punktuell anzutreffen*. Grund dafür sind die steigende *Komplexität der Anlagen* sowie die *zunehmende Diversität der Komponenten*. Diese stellt eine wesentliche Herausforderung bei der Entwicklung eines solchen strategischen Instandhaltungsmanagements dar.

Das Projekt PROSAM stellt sich dieser Herausforderung und intendiert zu deren Lösung die Entwicklung *neuartiger methodischer als auch methodologischer Grundlagen auf Basis von wissens- und datenbasierten Methoden*, wobei alle nötigen Ebenen wie Datenintegration, Datenaufbereitung, Extraktion von Zustandsmerkmalen, Modellbildung, Wissensrepräsentation und problemorientierte Systemanalyse berücksichtigt werden.

Das Konsortium ist so gewählt, um die entsprechenden Kompetenzen abzudecken: Expertise zu Instandhaltungsmanagement (H&H Systems GmbH), Condition Monitoring Services (Messfeld GmbH), Datenintegration und wissens- als auch datenbasierte Modellierung (SCCH). Ziel ist, gemeinsam mit Partnerunternehmen die Machbarkeit und den Nutzen dieses Ansatzes anhand von industriellen Fallstudien im industriellen

Netzwerk (assoziierte Partner) der Kunden von H&H Systems und Messfeld GmbH nachzuweisen. Insbesondere sind Fallstudien im Bereich der Lebensmittelproduktion (Kärntner Mühle Kropfitsch und Glanzer GmbH) sowie im Bereich der chemischen Produktion (Evonik Degussa Peroxid GmbH) geplant.

Kontaktperson	Dr. Thomas Natschläger (thomas.natschlaeger@scch.at), Software Competence Center Hagenberg GmbH
www	n.a.

4.2.6 Smart Maintenance

Ressourcenintelligente antizipative Instandhaltung durch Condition Monitoring, Datenanalyse und Störungsprognostik (Smart Maintenance)

Partner	Montan University Leoben (Kordinator), Software Competence Center Hagenberg GmbH, BMW Motoren GmbH, BRP-Powertrain GmbH & Co KG, Messfeld GmbH
Fördergeber	FFG, IKT der Zukunft
Laufzeit	September 2014 bis August 2017
Projektvolumen	Ca. 1,4 Mio. €
Kurzbeschreibung	Fertigungsanlagen unterliegen einem Verbrauch des Nutzensvorrates (Verschleiß), der je nach Betriebssituation leistungs- oder zeitabhängig erfolgt. Dieser Verschleiß führt ohne Gegenmaßnahmen im schlimmsten Fall zu Ausfall der Komponenten und zu ungeplanten Stillständen der Anlage, kann jedoch auch zu einer Minderung der Produktqualität, eingeschränkten Betriebsbedingungen oder erhöhten Energieverbräuchen führen.

Insgesamt erfordert die Abnahme des Nutzensvorrates entsprechende Aktionen, um den Verschleiß und seine ökonomischen und ökologischen Folgen zu minimieren. Dieses Maßnahmen- bzw. Aktionsbündel zur Verschleißgegensteuerung erfordert bestimmte Instandhaltungsstrategien, welche reaktiv oder präventiv ausgestaltet sein können. Condition Monitoring Systeme z.B. erfassen dabei punktuell Anlagenzustände, aus denen man Verschleiß- bzw. Ausfallverhalten bestimmen und entsprechend präventive Instandhaltungsmaßnahmen einleiten kann.

Das Forschungsvorhaben verfolgt nun das Ziel, einerseits den Einsatz von Condition Monitoring zu verbessern, indem über ein Bewertungs- und Entscheidungsmodell analysiert wird, ob der Einsatz von Condition Monitoring für systemkritische Anlagenkomponenten überhaupt technologisch möglich ist und ob der Einsatz in einem komplexen Fertigungssystem auch ökonomisch Sinn macht. Die ökonomische Bewertung wird dabei umfassend gesehen und beinhaltet neben risiko- und organisationspezifischen Aspekten auch Lebenszykluskostenanalysen.

Dort, wo Condition Monitoring auf technische Grenzen stößt (wenn sich keine physikalischen Parameter zur Evaluierung des Verschleiß- bzw. Ausfallverhaltens bestimmen lassen) bzw. wo der wirtschaftliche Nutzen von CM nicht geben ist soll erforscht werden, ob mithilfe von umfassender Datenanalyse (Datamining von Maschinen-, Prozess- und Produktdaten) in Kombination mit Ursache-Wirkungsmodellen mögliche Muster

für das Ausfallverhalten erkannt werden können. Diese Muster dienen in weiterer Folge als Input für die Entwicklung von Methoden der Störungsprognostik, aus denen verbesserte Planungsregeln (Algorithmen) für Instandhaltungsstrategien abgeleitet werden können.

Das Projektergebnis ist ein Modell, welches in einer Kombination aus mathematischen, informationstechnischen (daten- und wissensbasierten), technologischen und ökonomischen Methoden eine verbesserte Instandhaltungsstrategiebestimmung ermöglicht, um so die Anlagenverfügbarkeit zu erhöhen, bei gleichzeitig geringeren Instandhaltungskosten.

Gemeinsam mit Partnerunternehmen sollen die Machbarkeit als auch die praktische Umsetzung sowie der wirtschaftliche Nutzen anhand von Feldversuchen im realen industriellen Umfeld demonstriert werden. Das Projektkonsortium ist dabei so gewählt, dass alle nötigen Kompetenzen für dieses Forschungsvorhaben abgedeckt werden.

Kontaktperson Univ.-Prof. Dr. Hubert Biedermann, DI Alfred Kinz, Montanuniversität Leoben (Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften)

www www.scch.at/de/das-news/neues-forschungsprojekt-genehmigt

4.2.7 SUPREME

Sustainable Predictive Maintenance for Manufacturing Equipment (SUPREME)

Partner CETIM (Technical Centre for Mechanical Industries), COFELYENDEL, CVUT, Condat, EC Systems, Fraunhofer Gesellschaft (IPA), Grenoble Institute of Technology, Loy & Hutz AG, OPTIMITIVE, ORLOGA, S.A.

Fördergeber Europäische Kommission, FP7, Factories of the Future (Call Identifier: FP7-2012-NMP-ICT-FoF)

Laufzeit September 2012 bis August 2015

Projektvolumen ca. 4,5 Mio. €

Kurzbeschreibung Produktivitätsverbesserungen machen die europäische Wirtschaft wettbewerbsfähiger. Industrielle Instandhaltung trägt dazu maßgeblich bei. Der europäische Markt für Instandhaltung wird auf etwa 32 Milliarden Euro geschätzt, wovon ca. ein Drittel auf externe Dienstleister entfällt. In vielen Sektoren mit Dauerproduktion (Energie, Chemische Industrie, Nahrungsmittel, Papier, etc.) macht der Instandhaltungsanteil über 25% der Gesamtkosten aus. In diesen Sektoren können Maschinenausfälle die Produktion völlig zum Erliegen bringen und daher ist in diesen Industrien Vorausschauende Instandhaltung ein wichtiges Qualitätselement. Die Herausforderung für die Europäische Industrie liegt darin, durch Vorausschauende Instandhaltung Produktionssteigerungen zu erreichen.



SUPREME entwickelt neue Werkzeuge und ein Referenzmodell für Vorausschauende Instandhaltung. Dies wird auch zu einer Reduktion des Energiekonsums beitragen und somit die Nachhaltigkeit erhöhen. So wird um Beispiel die Instandhaltungsstrategie dynamisch an den Zustand kritischer Produktionsmaschinen angepasst.

Vorausschauende Instandhaltung muss Fehler korrekt vorhersagen und somit eine optimale Instandhaltungsstrategie unterstützen, um Kosten zu

senken, Standzeiten zu verlängern, und Qualität sowie Energieverbrauch zu verbessern.

Es gibt zurzeit zwar Lösungen für zustandsorientierte Wartung von Produktionsmaschinen, diese sind aber noch nicht flächendeckend in Verwendung und weisen auch durchwegs Schwächen auf, v.a. was die Integration in CMMS („Computerised Maintenance Management Systems“) betrifft. Viele der existierenden Systeme sind noch immer Insellösungen.

Wir erwarten große Fortschritte bei vorausschauender Instandhaltung durch Wissensextraktion auf Basis von eingebetteter Sensorik.

Die vorgeschlagene Lösung wird zuerst in der Papierindustrie getestet werden, soll aber auch auf andere Prozessindustrien anwendbar sein. So wird SUPREME auch in der Energieversorgung, der chemischen Industrie, Nahrungsmittelindustrie und bei Zementfabriken positive Auswirkungen auf Produktivität und Energieeffizienz haben.

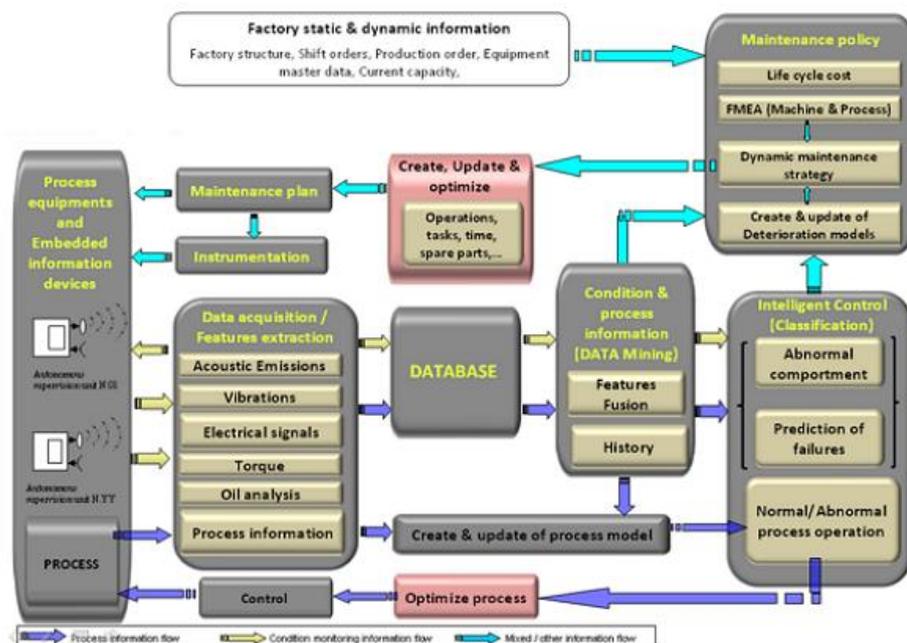


Abbildung 19: SUPREME Reference Model
(Quelle: www.supreme-fof.eu)

Ansprechpartner Sophie Sieg-Zieba, CETIM

www www.supreme-fof.eu

4.3 Weitere Forschungsprojekte

Die folgenden Forschungsprojekte stehen mit Forschungsfragen in der Instandhaltung in Verbindung. Sie werden überblicksweise vorgestellt.

Projekttitlel	Kurzbeschreibung
iMain	<p>iMain ist ein Projekt aus dem 7. Rahmenprogramm, dotiert mit knapp 3.5 Millionen Euro. Das Projekt dauert 3 Jahre und endet im August 2015.</p> <p>Ziel von iMain ist ein neuartiges System für vorausschauende Instandhaltung mit folgenden Charakteristika:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ein eingebettetes, weitgehend energie-autarkes Kontrollsystem für den Maschinenzustand und Energieverbrauch • Ein intelligentes Vorhersagesystem für vorausschauende Instandhaltung, das das ECEM System durch eine Anzahl virtueller Sensoren komplettieren wird • Eine neue Instandhaltungsstrategie basierend auf Cloud-Technologien <p>www: www: www.imain-project.eu</p>
Power-OM	<p>Power-OM fokussiert sich auf das Monitoring von Stromstärke-Profilen als eine einfach zu implementierende Form der Zustandsorientierten Instandhaltung, wobei drei Sichtweisen eingenommen werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Optimierung der Instandhaltungsstrategie basierend auf Vorhersagen von Maschinenausfällen • Minmierung des Energieverbrauchs • Verbesserung der Verlässlichkeit von Produktionsmaschinen <p>www: http://power-om.eu/</p>
SeWoA	<p>Das Projekt Secure and Semantic Web of Automation (SeWoA) widmet sich der Interoperation von Systemen zur Gebäude-Automatisierung auf Basis von Semantic Web Technologien.</p> <p>Zentrales Element des Projekts ist eine semantische Integrations-schicht, die auf einer entsprechenden Ontologie basiert. Darauf aufgesetzt sind sichere Kommunikationskanäle sowie ein semantisches Abfragesystem. Anwendungsszenarien sind Energie-Managementssysteme und Smart Grid Anwendungen.</p> <p>www: https://www.auto.tuwien.ac.at/projects/viewBlog/40/</p>

5 Anhang

5.1 Die Herausgeber

Georg Güntner



DI Georg Güntner ist Projektleiter und Senior Researcher in der Salzburg Research Forschungsgesellschaft. Er leitete von 2000 bis 2013 das Kompetenzzentrum für Neue Medien, Salzburg NewMediaLab.

Die Schwerpunkte seiner aktuellen Forschungstätigkeit liegen im Bereich der Begleit- und Akzeptanzforschung von Internet-Technologien und des Internets der Dinge in Produktions- und Instandhaltungsunternehmen, sowie im Bereich der semantischen Technologien, Wissensrepräsentation und Enterprise Information Integration.

Georg Güntner leitet das Sondierungsprojekt „Instandhaltung 4.0“.

Michael Benisch



Michael Benisch leitet zentral den Bereich HSEQ bei Bilfinger Chem-serv GmbH (Linz).

Davor war er jahrelang als Instandhaltungsleiter in der petrochemischen Industrie und in der Lebensmittelindustrie tätig.

Michael Benisch ist Mitglied des Projektmanagement-Teams des Sondierungsprojekts „Instandhaltung 4.0“. Sein Schwerpunkt in diesem Sondierungsprojekt liegt im Faktor Mensch.

Andreas Dankl



Dr. Andreas Dankl ist Geschäftsführer der internationalen Beratungsunternehmen dankl+partner consulting GmbH (Wals bei Salzburg) und MCP Deutschland GmbH. Das Beratungsnetzwerk ist auf die Fachbereiche Instandhaltung, Asset und Facility Management spezialisiert. Andreas Dankl leitet die Maintenance and Facility Management Society of Austria (MFA), die in die europäische Dachorganisation EFNMS integriert ist.

Weitere Aktivitäten: Autor von mehreren Publikationen im Bereich Asset Management und Instandhaltung.

Jutta Isopp



DI Jutta Isopp ist Geschäftsführerin der Messfeld GmbH (Klagenfurt). Sie ist Expertin im Bereich Condition Monitoring und industrieller Messtechnik, sowie Maschinendynamik und Maschinendiagnose und an mehreren Forschungsprojekten aus den Themenkreisen Condition Monitoring und Instandhaltung beteiligt.

Als Lehrbeauftragte hält sie Lehrveranstaltungen an der Alpen-Adria-Universität Klagenfurt, der Fachhochschule Kärnten und dem Campus 02 - Fachhochschule für Wirtschaft.

5.2 Berichte zur „Instandhaltung 4.0“

„Instandhaltung 4.0“ veröffentlichte die folgenden Berichte zur Zukunft der Instandhaltung:



Bedürfnisse, Anforderungen und Trends

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

Der Bericht beschreibt die Ergebnisse einer Bedürfnis- und Trendanalyse für die Instandhaltung. Die Resultate beruhen auf strukturierten Interviews mit Instandhaltungs-, Produktions- und IT-ExpertInnen (qualitative Analyse), welche als Basis für die Entwicklung einer Online-Umfrage verwendet wurden (qualitative Analyse). Aus den Rückmeldungen der Online-Umfrage ergibt sich ein Bild von den Trends und Herausforderungen in der Instandhaltung mit überraschenden Ergebnissen.



Entwicklungsszenarien und Handlungsempfehlungen

Georg Güntner, Mark Markus: „Instandhaltung 4.0: Entwicklungsszenarien und Handlungsempfehlungen“, <http://bit.ly/1Ot2Rbf>, Januar 2015

Der Bericht stellt Szenarien für die Instandhaltung in den Themenkomplexen „Menschen und Kompetenzen“, „Umsetzung von Instandhaltung 4.0“, „Daten als strategische Ressource“ und „Innerbetrieblicher Wert der Instandhaltung“ vor. ExpertInnen kommentierten und schätzen die Auswirkungen der Szenarien, ihre Eintrittswahrscheinlichkeit und den Zeitraum ihres Eintretens ein. Wird die Instandhaltung zum „innerbetrieblichen Shooting-Star“ oder bleibt sie die „Magd“ der Produktion?



Roadmap der Instandhaltung 4.0

Georg Güntner, Michael Benisch, Andreas Dankl, Jutta Isopp (Hrsg.): „Roadmap der Instandhaltung 4.0“, <http://bit.ly/1IFGJfu>, Mai 2015

Der Bericht aktualisiert die Ergebnisse der Bedürfnis- und Trendanalyse anhand der in der Szenarientwicklung gewonnenen Aussagen der ExpertInnen und zeichnet Spannungsfelder und Paradigmenwechsel in der Instandhaltung auf. Daraus werden die Handlungsfelder sowie die Forschungs- und Entwicklungsfragen der Instandhaltung abgeleitet. Der Bericht wird abgerundet mit einem Technologie- und Forschungsradar für ausgewählte Themen der Informations-Integration in der Instandhaltung.

5.3 Die Sondierungsmaßnahme „Instandhaltung 4.0“

Die offenen Fragen zu den Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die Instandhaltung waren der Ausgangspunkt für die Entwicklung einer Sondierungsmaßnahme in Österreich: In diesem öffentlich geförderten Projekt mit der Bezeichnung „Instandhaltung 4.0“ wird systematisch untersucht, wie sich der Trend zur Virtualisierung und Vernetzung auf die Prozesse, Methoden und Strategien der Instandhaltung auswirkt. Das Ergebnis ist eine Roadmap zum Thema Instandhaltung. Die Sondierungsmaßnahme wurde im Februar 2014 gestartet und läuft bis April 2015.

Projekt-Eckdaten Instandhaltung 4.0

Programm:	FTI-Initiative „Produktion der Zukunft“ (gefördert vom BMVIT)
Projekttyp:	Sondierungsmaßnahme, Konsortialprojekt
Projektvolumen:	250.000 €
Projektlaufzeit:	01.02.2014-30.04.2015
Projektpartner:	Salzburg Research (Koordinator) dankl+partner consulting GmbH Messfeld GmbH Bilfinger Chemserv GmbH
Web:	http://instandhaltung40.salzburgresearch.at/

Abbildung 20: Projekt-Eckdaten Instandhaltung 4.0

Projektkonsortium



Für die Durchführung des Projekts wurde ein kompetentes **Konsortium** gebildet: *Salzburg Research* (www.salzburgresearch.at), das Forschungsinstitut des Landes Salzburg, ist seit vielen Jahren in nationalen und europäischen IT Forschungsprogrammen tätig. Das Institut begleitet Produktions- und Instandhaltungsunternehmen bei der Einführung und Folgenabschätzung des Einsatzes von Internet-Technologien in den Produktions- und Fertigungsbetrieben. Als Teil der *Bilfinger Industrial Services Group* zählt *Bilfinger Chemserv* (www.chemserv.at) zum größten Instandhaltungsdienstleister im deutschsprachigen Raum, für den das Thema „Zukunft der Instandhaltung“ hohen strategischen Stellenwert hat. *dankl+partner consulting* (www.dankl.com) ist eines der führenden Instandhaltungs-Beratungsunternehmen mit Sitz in Wals bei Salzburg (Österreich) mit Europa-weitem Kundenkreis und starker Partnerschaft mit dem Consulting Netzwerk *MCP International*. *Messfeld GmbH* (www.messfeld.com) ist ein Instandhaltungsdienstleister aus Klagenfurt (Österreich) mit Spezialisierung im Bereich Sensor-gestütztes Condition Monitoring. Das Projekt wird unterstützt vom österreichischen Verein für Instandhaltung (MFA, www.mf-austria.at).

Fördergeber

Die Sondierungsmaßnahme „Instandhaltung 4.0“ wird durch das österreichische Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit) und die österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) im Rahmen der FTI-Initiative „Produktion der Zukunft“ gefördert.

5.4 ExpertInnen und MitarbeiterInnen der Studie

Folgende ExpertInnen trugen zur Entwicklung des vorliegenden Berichts bei. Wir bedanken uns an dieser Stelle ausdrücklich bei unseren ExpertInnen für die engagierte Mitarbeit, ihre Zeit, sowie ihr Wissen, ihre Einschätzung und ihre Erfahrung, die sie unserem Projekt zur Verfügung gestellt haben!

Expertengruppen in der qualitativen Analyse (Interviews)

- Dr. Andreas Dankl, dankl+partner consulting gmbh
- DI(FH) Jürgen Hiebler, Austria Technologie & Systemtechnik Aktiengesellschaft (AT&S)
- Mag. Oliver Hofbauer, H&H SYSTEMS Software-Entwicklungs- und VertriebsgmbH
- DI Jutta Isopp, Messfeld GmbH
- DI Thomas Kasper, Innovationsmanager (vormals Bilfinger Chemserv)
- Arno Liendl, LEIPA Georg Leinfelder GmbH
- Ing. Günter Loidl, Loidl Unternehmensberatung (vormals dankl+partner)
- Mag.(FH) Reinhard Nowak, LineMetrics GmbH
- Karl-Heinz Sauter, Karl-Heinz Sauter Services und Consulting GmbH
- Ing. Herbert Spanring, MAN Truck & Bus Österreich AG
- DI Gerhard Stöger, Siemens AG Österreich
- DI Gerald Tscherne, Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation

Expertengruppe Szenarienentwicklung

- Prof. Dr. Lennart Brumby, Duale Hochschule Baden-Württemberg Mannheim
- Dr. Andreas Dankl, dankl+partner consulting gmbh
- Robert Esterl, Infineon Technologies Austria AG
- Ernst Gaisbauer, Gaisbauer Consulting Ingenieurbüro für Verfahrenstechnik und Bergbau
- DI Ludwig Grubauer, Grubauer Consulting
- Mag. Lydia Höller, dankl+partner consulting gmbh
- Klaus Huber, Bilfinger Chemserv GmbH
- DI Jutta Isopp, Messfeld GmbH
- Ing. André Janesch MSc, MarWin Solutions GmbH
- Dr. Reinhard Korb, Korb Consulting KG
- Ing. Günter Loidl, Loidl Unternehmensberatung
- Roberto Pasti, Bosch Software Innovations GmbH
- DI Siegfried Reiter, dankl+partner consulting gmbh
- Chris Rijdsdijk, HZ University of Applied Sciences
- Karl-Heinz Sauter, Karl-Heinz Sauter Services und Consulting GmbH
- Dr. Ina M. Hoyer, Berufsakademie Sachsen
- Dr. Steffen Simon, Bilfinger SE
- Ing. Herbert Spanring, MAN Truck & Bus Österreich AG
- DI Gerhard Stöger, Siemens AG Österreich
- Mag. Peter Sylvester, Mag. Sylvester Peter
- DI Bernward Ulm, Dipl.-Ing. Bernward Ulm
- Dr. Ulrich Wieltsch, Bilfinger Chemserv GmbH

Weitere involvierte ExpertInnen

- Dr. Peter Brandl, evolaris next level GmbH
- DI Peter Dollfuss, Microtronics Engineering GmbH
- Univ.-Prof. Dr. Stefan Biffli, TU Wien/Inst. für Softwaretechnik und Interaktive Systeme
- DDr. Robert Eckhoff, Implicity OG (vormals Salzburg Research)
- DI(FH) Wolfgang Hafenscher, Linemetrics GmbH
- Dr. Thomas Heller, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML
- Michael Kurz MSc., FIR e. V. an der RWTH Aachen
- Dr. Mark Markus, Implicity OG (vormals Salzburg Research)
- Prof. Dr. Kurt Matyas, TU Wien, Institut für Managementwissenschaften
- Reinhard Mayr, Ing. Punzenberger COPA-DATA GmbH
- David A. Merbecks, WVIS e.V.
- FH-Prof. Dr. Robert Merz, FH Salzburg
- Harald Neuhaus, Vorsitzender des Branchenverbandes FVI e.V.
- Mag.(FH) Reinhard Nowak, Linemetrics GmbH
- Dr. Jens Reichel, Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH
- Robert Sturm, Opel Wien GmbH/General Motors
- Ing. Fiedrich Szukitsch, Ing. Friedrich Szukitsch EDV-Dienstleistungen
- Prof. Dr. Leon Urbas, TU Dresden/ Institut für Automatisierungstechnik

Studien-Team Instandhaltung 4.0

Die Mitwirkenden am Sondierungsprojekt „Instandhaltung 4.0“ und an den im Laufe des Projekts erstellten Berichten sind:

- Michael Benisch, Bilfinger Chemserv GmbH
- Dr. Andreas Dankl, dankl+partner consulting gmbh
- DDr. Robert Eckhoff, Implicity OG (vormals Salzburg Research)
- DI Georg Güntner, Salzburg Research Forschungsgesellschaft m.b.H.
- Mag. Lydia Höller, dankl+partner consulting gmbh
- Klaus Huber, Bilfinger Chemserv GmbH
- DI Jutta Isopp, Messfeld GmbH
- DI Thomas Kasper, Innovationsmanager (vormals Bilfinger Chemserv)
- Ing. Günter Loidl, Loidl Unternehmensberatung (vormals dankl+partner consulting)
- Dr. Mark Markus, Implicity OG (vormals Salzburg Research)
- Dr. Ulrich Wieltsch, Bilfinger Chemserv GmbH

5.5 Referenzen

- [AML2014] AutomationML Whitepaper Part 5 – Communication. September 2014. Online: <http://bit.ly/1EniKwr>
- [BadSerPas2011] F. Badra, F.-P. Servant, Alexandre Passant (2011), A Semantic Web Representation of Product Range Specification based on Constraint Satisfaction Problem in the Automotive Industry, ESWC Workshop on Ontology and Semantic Web for Manufacturing (OSEMA'11), Workshop at Extended Semantic Web Conference (ESWC 2011)
- [Bassi2013] Alessandro Bassi, Martin Bauer, Martin Fiedler, Thorsten Kramp, Rob van Kranenburg, Sebastian Lange, Stefan Meissner: „Enabling Things to Talk - Designing IoT solutions with the IoT Architectural Reference Model“. Verlag Springer, ISBN: 978-3-642-40402-3 (Print) 978-3-642-40403-0 (Online), <http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-642-40403-0>, 2013
- [BernLee2001] Tim Berners-Lee, James Hendler, Ora Lassila: „The Semantic Web: a new form of Web content that is meaningful to computers will unleash a revolution of new possibilities“, In: Scientific American, 284 (5), S. 34–43, www.scientificamerican.com/article/the-semantic-web/, 2001
- [BernLee2006] Tim Berners-Lee: „Linked Data – Design Issues“, www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html, 2006,
- [Berger2014] Helmut Berger, Michael Dittenbach, Marita Haas Berger, Ralf Bierig, Allan Hanbury, Mihai Lupu, Florina Piroi: „Conquering Data in Austria“, Technologie-Roadmap (Jänner 2014), <http://bit.ly/1sjyP21>, 2014
- [Bie2012] Biedermann, Hubert: Total Productive and Safety Maintenance - Produktionsstätten, Prozesse und Anlagen sicher und effizient gestalten, Köln, TÜV-Verlag, 2012, ISBN 978-3-8249-1581-1
- [BruCon2009] Brunner Mark, O'Connor Rod: “Following the Asset Reliability Roadmap”, Artikel auf <http://thereliabilityroadmap.com/>, 2009
- [DelPrete2001] C. Del Prete, D. Levitas, T. Grieser, M. Johnston Turner, J. Pucciarelli, S. Hudson: „IT Consumers Transform the Enterprise: Are you Ready?“, IDC White Paper (Mai 2011), <http://bit.ly/1d1Pkfo>, 2011
- [Dengel2012] A. Dengel (Hrsg.): „Semantische Technologien. Grundlagen. Konzepte. Anwendungen“, Springer Spektrum, ISBN 978-3-8274-2663-5, 2010.
- [DLPH2008] R. Drath, A. Luder, J. Peschke, and L. Hundt, “AutomationML – the glue for seamless automation engineering” in IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, 2008. ETFA 2008, 2008, pp. 616–623.
- [Guen2014a] Georg Güntner, Robert Eckhoff, Jutta Isopp, Günter Loidl, Mark Markus: “Bedürfnisse, Anforderungen und Trends in der Instandhaltung 4.0” (Oktober 2014), <http://bit.ly/1zvOWxS>, 2014
- [Guen2015b] Georg Güntner, Mark Markus: “Instandhaltung 4.0: Entwicklungsszenarien und Handlungsempfehlungen” - <http://bit.ly/1Ot2Rbf>, Januar 2015
- [HellWiz2012] Heller, T., Wizarrek, A.: Total Productive Management in Unternehmen - Erfolgreiche Integration von TPM mit Hilfe eines Prozess- und qualifikationsorientierten Modells; erschienen in: Productivity management 17 No.2 (2012)
- [Kager2013] Kagermann Henning, Wahlster Wolfgang, Helbig Johannes: “Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0”, Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, April 2013

- [Kolb2012] Kolb Bernd, (2012), „Analyse der Ausgangssituation und Markteintrittsstrategie für Condition Monitoring auf dem österreichischen Markt“; Diplomarbeit, Institut für Unternehmensführung und Organisation, TU Graz, 113 Seiten
- [KraCec2007] Krause J., Cech S.(2007), Ein Prototyp zur zustandsorientierten Instandhaltung, GI Jahrestagung (2) 2007: 362-368,
- [Lata2013] Latamore Bert (2013), Industrial Internet Value Potential Huge but Slow to Develop; Post auf SiliconANGLE: <http://bit.ly/1FowaN5>
- [Lün2012] Hossenfelder Jörg, Schramm Sebastian: Lünendonk®-Studie 2012, "Führende Industrieservice-Unternehmen in Deutschland", LÜNEN-DONK GmbH, www.luenendonk.de
- [LÜSC2014] A. Lüder and N. Schmidt, 2014. "An minimal tool interface for machinery and equipment engineering". In Proceedings of the 3rd AutomationML User Conference, Blomberg, October 2014.
- [Mat2013] Matyas, Kurt: Instandhaltungslogistik - Qualität und Produktivität steigern, Praxisreihe Qualitätswissen, Hanser Fachbuchverlag, 277 Seiten.
- [PERSS2010] Persson, J., Gallois, A., Björkelund, A., Hafdell, L., Haage, M., Malec, J., Nilsson, K. & Nugues, P. (2010). A Knowledge Integration Framework for Robotics.. *ISR/ROBOTIK* (p./pp. 1-8), : VDE Verlag. ISBN: 978-3-8007-3273-9
- [PlattInd2015] Plattform Industrie 4.0: „Industrie 4.0 – Whitepaper FuE Themen“ (April 2015), <http://bit.ly/1E8ROOI>, 2015
- [Ryl2008] Ryll F, 2008, Gestaltung einer zustandsorientierten Instandhaltungsstrategie auf der Grundlage einer erfahrungsbasierten Bewertung von Abnutzungsvorräten in technischen Anlagen, Fraunhofer IFF, Magdeburg; 270 S., Fraunhofer IRB Verlag, ISBN 978-3-8167-7658-1
- [Schenk2010] Schenk Michael, 2010, Innovative Lösungen für die Instandhaltung von Anlagen; 11. Industriearbeitskreis "Kooperation im Anlagenbau"; Hrsg.: Michael Schenk; Fraunhofer IFF, Magdeburg; 2010; Fraunhofer Verlag, ISBN 978-3-8396-0045-0
- [Schuck2012] Schuckmann Heino von: "Bedeutung und Chancen des Asset Managements für Anlagenhersteller" - Präsentation im Rahmen von AKIDA 2012 - <http://bit.ly/13AM2aG>, 2012
- [Schuh2005] Schuh Günther, e.a.: "Intelligent Maintenance - Potenziale zustandsorientierter Instandhaltung", Studie im Auftrag von ifm electronic gmbH, RWTH Aachen und Fraunhofer IPT, 2005
- [StuDan2010]: Stuber Alexander, Dankl Andreas: "Asset Manager 2010 - Marktstudie und Handbuch zur industriellen Instandhaltung und zum technischen Gebäudemanagement", Trade Press Agency, www.physical-asset-manager.eu, 2010

5.6 Impressum

„Instandhaltung 4.0“ ist ein Kooperationsprojekt unter der Koordination von der Salzburg Research Forschungsgesellschaft m.b.H. mit Bilfinger Chemserv GmbH (Linz), dankl+partner consulting gmbh (Wals bei Salzburg) und Messfeld GmbH (Klagenfurt).

Das Projekt wird durch das BMVIT und die FFG im Rahmen der FTI-Initiative „Produktion der Zukunft“ gefördert.

Titel	Roadmap der Instandhaltung 4.0
Kommentar	Dieser Bericht kombiniert die Deliverables D3.1 und 4.1 des Sondierungsprojekts „Instandhaltung 4.0“ und stellt ein Ergebnis des Arbeitspakets „IH40-Design“ und „IH40-Roadmapping“ dar.
Autoren	Georg Güntner, Michael Benisch, Andreas Dankl, Jutta Isopp (Hrsg.)
Dateiname	IH40 Roadmap (final).docx
Qualitätsprüfung	27. Mai 2015
Copyright	Projektkonsortium Instandhaltung 4.0 (2015) p.a. Salzburg Research Forschungsgesellschaft m.b.H. 
Fotos & Grafiken	Die Fotos in diesem Bericht unterliegen, sofern nicht anders angegeben, dem Copyright © fotolia.com / Salzburg Research. Die Diagramme wurden im Rahmen des Projekts „Instandhaltung 4.0“ entwickelt und sind lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Nicht-kommerziell - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz (CC BY-NC-SA 4.0). Die Diagramme sind unter dem Copyrightvermerk „Quelle: IH40 Online-Umfrage - © Projektkonsortium Instandhaltung 4.0 (2014)“ zu zitieren. Weitere Bildquellen (Quelle thenounproject.com): <ul style="list-style-type: none"> • Icon in „Menschen & Kompetenzen“: Joseph Wilson (CC BY 3.0) • Icon in „Umsetzung von IH4.0“: WARSLAB (CC BY 3.0) • Icon in „Daten als strategische Ressource“: Chris Keithley (CC BY 3.0) • Icon „Comments“: Arthur Shlain (CC BY 3.0)
WWW	http://instandhaltung40.salzburgresearch.at/
	instandhaltung40@salzburgresearch.at

Die Salzburg Research Forschungsgesellschaft m.b.H. mit Sitz in Salzburg beschäftigt sich im Rahmen des Themenfeldes "Industrial Internet" mit der Verschmelzung von Produktion und Informationstechnologie und unterstützt bei der Untersuchung von Akzeptanz und Wirkung der Internettechnologien in der Fertigung und Instandhaltung.

Als Koordinator des Sondierungsprojekts „Instandhaltung 4.0“ fungiert Salzburg Research als Vertreter des Konsortiums, als Ansprechpartner der Fördergeber und als herausgebende Gesellschaft dieses Berichts.

Salzburg Research Forschungsgesellschaft m.b.H.
Jakob Haringer Straße 5/3 | A-5020 Salzburg | Österreich
www: www.salzburgresearch.at
e-Mail: instandhaltung40@salzburgresearch.at
Tel. +43-662-2288-401

