



**Konzepte, Instrumente und Anwendungen für eine  
effiziente und intelligente Instandhaltung**

**TÜV Media**

# Lean Smart Maintenance

H. Biedermann (Hrsg.)

# Lean Smart Maintenance

# Praxiswissen für Ingenieure – Instandhaltung

Herausgegeben von o.Univ.Prof.Dr. Hubert Biedermann  
Department Wirtschafts- und Betriebswissenschaften  
an der Montanuniversität Leoben



Dieses E-Book wurde von der  
ÖVIA (Österreichische technisch-wissenschaftliche  
Vereinigung für Instandhaltung & Anlagenwirtschaft) erstellt.

**Praxiswissen Instandhaltung**

**Konzepte, Instrumente und Anwendungen für eine  
effiziente und intelligente Instandhaltung**

**30. Instandhaltungsforum**

**TÜV Media**

# Lean Smart Maintenance

H. Biedermann (Hrsg.)

### **Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek**

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

ISBN 978-3-7406-0285-7

© by TÜV Media GmbH, TÜV Rheinland Group, Köln 2016

® TÜV, TUEV und TUV sind eingetragene Marken. Eine Nutzung und Verwendung bedarf der vorherigen Zustimmung.

Gesamtherstellung: TÜV Media GmbH, Köln 2016

## Inhaltsverzeichnis

<b>Autorenverzeichnis</b>	<b>7</b>
---------------------------	----------

## **Lean Smart Maintenance – Effiziente und intelligente Instandhaltung**

<b>Smart Factory bedarf Smart Maintenance: Zu Smart Maintenance durch intelligente Instandhaltungssysteme</b>	<b>9</b>
---	----------

Wilfried Sihm, Tanja Nemeth, Philip Geißler

<b>Lean Smart Maintenance: Wertschöpfende, lernorientierte und ressourceneffiziente Instandhaltung</b>	<b>19</b>
--	-----------

Hubert Biedermann

## **Anwendungsbeispiele Lean Smart Maintenance**

<b>Flexible Fertigungssysteme der Generation Industrie 4.0: Herausforderungen für Betreiber und Instandhalter</b>	<b>31</b>
---	-----------

Jochen Deuse, Ferdinand Klenner, David Lenze, Tilman Friedrich

<b>Szenarien für die Anwendung von Additive Manufacturing in der Instandhaltung</b>	<b>49</b>
---	-----------

Jens Pottebaum, Iris Gräßler

<b>Instandhaltungsoptimierung mittels Lean Smart Maintenance: Einführung des Lean Smart Maintenance Ansatzes</b>	<b>61</b>
--	-----------

Alfred Kinz, Robert Bernerstätter

## **Management- und Organisationskonzepte**

<b>Personalorganisation in der Instandhaltung: Unter den Gesichtspunkten von Qualifikation und Aufbauorganisation</b>	<b>101</b>
---	------------

Gert Zülch, Thorsten Vollstedt

<b>Wandel der Instandhaltungsorganisation unter den Einflüssen von Industrie 4.0: Worauf es bei der Kompetenzentwicklung der Mitarbeiter ankommt</b>	<b>113</b>
--	------------

Wilhelm Hodapp

## **Zuverlässigkeit und Maintainability**

- Warum Komponenten versagen: Eine Einführung in die Schadensanalyse** 125  
Bruno Buchmayr
- Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Instandhaltungskonzepte von Meeresströmungsmaschinen: Gezeitenenergie - Die Zukunft der Meeresenergieerzeugung hat begonnen** 141  
Rudolf Bauernhofer

## **Smarte Informationstechnologien**

- Roadmap Industrie 4.0: Struktur und Möglichkeiten im Kontext zur Supply Chain** 151  
Robert Schweiger
- Instandhaltung 4.0: Baustein für eine DV-gestützte proaktive Instandhaltungsstrategie** 159  
Michael Lex
- Sicherheit von IT-Systemen in der Industrie: Bestandsaufnahme, Bedrohung und notwendige Sicherheitsmaßnahmen – Eine Referenzarchitektur** 167  
Thomas Hemker

## **Smarte Instandhaltungslösungen**

- Smarte Instandhaltung und Service: Praktischer Work Around um Industrie 4.0 voranzutreiben** 181  
Markus Schriebl, Andreas Mündler
- Smart Guide: Erhöhung der Resilienz von Wertschöpfungsnetzwerken** 193  
Andreas Mündler

## Autorenverzeichnis

### **Rudolf Bauernhofer**

Dipl.-Ing., MBA, Managing Director  
Andritz Hydro Hammerfest (UK) Ltd.  
Glasgow

### **Robert Bernerstätter**

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

### **Hubert Biedermann**

o.Univ.-Prof. Dr.mont., Departmentleiter, Präsident der ÖVIA  
Department für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften  
Montanuniversität Leoben

### **Bruno Buchmayr**

Univ.-Prof. Dr., Lehrstuhlleiter  
Lehrstuhl für Umformtechnik  
Montanuniversität Leoben

### **Jochen Deuse**

Univ.-Prof. Dr.-Ing., Institutsleiter  
Institut für Produktionssysteme  
Technische Universität Dortmund

### **Tilman Friedrich**

Dr.-Ing., Leiter Planung Netzwerk Steuerungstechnik und Simulation  
BMW AG  
München

### **Philip Geißler**

BSc., Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Institut für Managementwissenschaften  
Technische Universität Wien

### **Iris Gräßler**

Prof. Dr.-Ing., Lehrstuhlleiterin  
Heinz Nixdorf Institut, Lehrstuhl für Produktentstehung  
Universität Paderborn

### **Thomas Hemker**

Security Strategist  
Symantec Deutschland GmbH  
München

### **Wilhelm Hodapp**

Dipl.-Ing., Lehrbeauftragter für Instandhaltung  
Duale Hochschule Baden-Württemberg  
Mannheim

### **Alfred Kinz**

Dipl.-Ing., Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Geschäftsführer der ÖVIA  
Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften  
Montanuniversität Leoben

### **Ferdinand Klenner**

Dipl.-Ing., Projektleiter Predictive Analytics im Bereich Produktion  
BMW AG  
München



**David Lenze**

M.Sc., Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Institut für Produktionssysteme  
Technische Universität Dortmund

**Andreas Mündler**

Dr., Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften  
Montanuniversität Leoben

**Tanja Nemeth**

Dipl.-Ing., Wissenschaftliche Mitarbeiterin  
Institut für Managementwissenschaften  
Technische Universität Wien

**Michael Lex**

Dipl.-Ing., Senior-Consultant IPS-Systeme  
Gesellschaft für Integrierte Systemplanung mbH  
Erlangen/Weinheim

**Jens Pottebaum**

Dr.-Ing., Oberingenieur  
Heinz Nixdorf Institut, Lehrstuhl für Produktentstehung  
Universität Paderborn

**Markus Schriebl**

Ing., Geschäftsführer  
TAGnology RFID GmbH  
Voitsberg

**Robert Schweiger**

Dr., Leiter strategische IT  
voestalpine Metal Engineering GmbH  
Donawitz/Leoben

**Wilfried Sihh**

Univ.-Prof. Prof.eh. Dr.-Ing. Dr.h.c., Institutsvorstand, Geschäftsführer Fraunhofer Austria  
Research GmbH, Institut für Betriebstechnik und Systemplanung  
Technische Universität Wien

**Thorsten Vollstedt**

Dr.-Ing., Leiter Digitale Montageplanung  
Daimler AG  
Sindelfingen

**Gert Zülch**

Univ.-Prof. Dr.-Ing., Institutsleiter i.R.  
Karlsruher Institut für Technologie  
Karlsruhe

# Smart Factory bedarf Smart Maintenance

## Zu Smart Maintenance durch intelligente Instandhaltungssysteme

**Philip Geißler, Tanja Nemeth, Wilfried Sihh**

*Durch das zunehmende kundenseitige Verlangen nach maßgeschneiderten und individualisierten Lösungen, wird die Produktion der Zukunft vor neue Herausforderungen gestellt. Neben der Notwendigkeit die Produktionsprozesse intelligent, vernetzt und flexibel zu gestalten, wird es auch eine dem gleichen Vorbild folgende Instandhaltungsstrategie benötigen, bei der Daten aus unterschiedlichsten Bereichen verwendet werden, um instandhaltungsrelevante Informationsflüsse zusammenzuführen und somit eine Basis für die effiziente Analyse zur Planung und Durchführung von Instandhaltungstätigkeiten zu schaffen. Hierfür ist es essentiell, ein Bewusstsein zu konstituieren, die Bereiche Produktionsplanung und -steuerung, Qualitätsmanagement und Instandhaltung nicht als voneinander unabhängig agierende Systeme zu verstehen, sondern dass es vielmehr ein bereichsübergreifendes Zusammenspiel dieser Grundelemente brauchen wird.*

### 1 Einleitung

In den letzten Jahren haben sich die Anforderungen an die Produktion durch das angestrebte Ziel von kundenindividuellen, maßgeschneiderten Lösungen drastisch verändert. Die Produktion der Zukunft muss intelligent, effizient, flexibel und nachhaltig sein. Diese Vision wird durch das viel diskutierte Thema der Vierten Industriellen Revolution – der sogenannten „Industrie 4.0“ – als Überbegriff bzw. Marketingbegriff konkretisiert. In der sogenannten „Smart Factory“, also der intelligenten Fabrik von Morgen, werden Anlagen, Materialien und Produkte mit Sensoren und Aktoren ausgestattet und über das Internet mit der virtuellen Welt verknüpft. Diese Verschmelzung physikalischer Objekte mit der virtuellen Welt führt zu der Entstehung von sogenannten „Cyber-Physical Systems“ und ermöglicht eine aktive Kommunikation und gegenseitige Steuerung der physikalischen Objekte.

Durch die zunehmende Anlagenkomplexität und -vernetzung, sowie die immer höher werdenden Flexibilitätsansprüche, nehmen auch die Anforderungen im Bereich der Instandhaltung kontinuierlich zu. Diese Entwicklung führt vor allem auch dazu, dass das Ausfallrisiko und das Ausfallkostenpotential, welches aktuell mit drei- bis fünfmal höheren Folgekosten einer Störung kalkuliert wird<sup>1</sup>, steigen und somit die Relevanz einer intelligenten Instandhaltung zunimmt. Um auch weiterhin die Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Maschinen, welche einen erheblichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der industriellen Produktion hat, gewährleisten zu können und die Vision einer Vierten Industriellen Revolution zu realisieren<sup>2</sup>, ist es also notwendig bestehende Instandhaltungsansätze in Richtung eines intelligenten, ganzheitlichen Instandhaltungsmanagements weiterzuentwickeln.

Durch die Überführung von physikalischen Objekten eines Produktionssystems in ein cyber-physisches System steigt die Menge der verfügbaren Daten rapide an. Die Instandhaltung muss daher die steigende Quantität und Qualität der verfügbaren Daten auswerten und nutzen lernen,

<sup>1</sup> Vgl. acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (2015), S. 7

<sup>2</sup> Vgl. acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (2015), S. 7

um notwendige Instandhaltungsmaßnahmen durch die stetig verfügbaren Informationen vorhersehbar und dadurch planbar zu machen, um sich von einer bis dato weitgehend reaktiven Instandhaltung, zu einer antizipativen Smart Maintenance, bei der Wartungsarbeiten bedarfsgerecht und rechtzeitig durchgeführt werden, weiterzuentwickeln<sup>2</sup>. Die großen Datenmengen helfen nicht nur vorausschauend Störungen zu vermeiden, sie ermöglichen auch ein hohes Informations- und Innovationspotential und erlauben somit die kontinuierliche Weiterentwicklung und Verbesserung von Maschinen und Anlagen durch eine systematische Aufbereitung und Nutzung der Daten.<sup>3</sup>

Bereits heute generieren Anlagen und Maschinen eine Vielzahl an Daten wobei die dadurch entstehenden Potentiale noch längst nicht ausgeschöpft sind. Die aktuelle Situation hinsichtlich der Datenerfassung, -bereitstellung und -nutzung (Abb. 1) zeigt, dass weniger als zehn Prozent der erzeugten Daten aktiv strukturiert, analysiert und somit systematisch für eine qualitative Entscheidungsfindung genutzt werden.<sup>4</sup> Jedoch gerade die durch Einmaligkeit und Kontextsensibilität geprägte Instandhaltung ist im Vergleich zu anderen Bereichen zu einem deutlich höheren Maße auf qualitativ hochwertige Daten, Informationen und Wissen aus bzw. über die Anlagen und Maschinen angewiesen.<sup>5</sup>

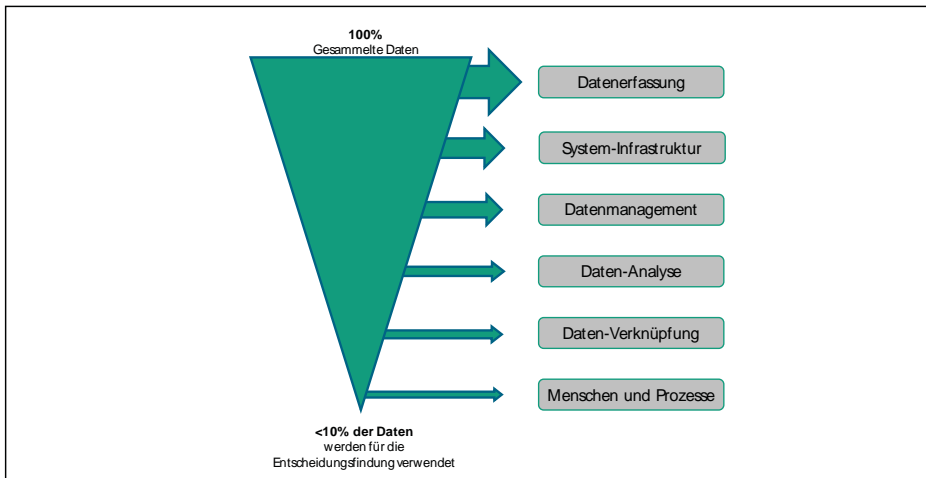


Abb. 1: Ist-Zustand Datensysteme und -management

Bei der Datenerfassung wird ein großer Anteil der generierten Daten erst garnicht gespeichert und die Speicherung der verbleibenden Datenmenge erfolgt meist lediglich lokal. Durch weitere Verschwendungen in Form von ungenütztem Datenmaterial (Datenmanagement), die Begrenztheit der Analysen auf bestimmte Metriken (Datenanalyse), sowie fehlende Interfaces für Echtzeitanalysen und Verknüpfungen von lokal gespeicherten Daten (Datenverknüpfung), basiert die Ausführung von Instandhaltungsmaßnahmen derzeit hauptsächlich auf Erfahrungswissen der Mitarbeiter und nicht auf einer systematischen Aggregation von diesem Wissen mit aufgearbeiteten, bereitgestellten Daten. Das Erfahrungswissen der Mitarbeiter wird in den meisten Fällen nur durch manuell eingegebene, fehlerhafte bzw. unklar definierte

<sup>3</sup> Vgl. acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (2015), S. 8.

<sup>4</sup> Vgl. McKinsey & Company (2015), S. 25.

<sup>5</sup> Vgl. acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (2015), S. 7.

Rückmeldedaten dokumentiert und für andere Mitarbeiter nutzbar gemacht, wodurch es zwangsläufig zu weiteren Potentialverlusten kommt.

Die effektive und effiziente Aggregation und Analyse der Daten erfordert ein reibungsloses Zusammenspiel aller Systeme. Daraus ergibt sich ein weiteres wichtiges Themenfeld für die Instandhaltung, nämlich die Entwicklung von interoperablen Systemen. Die generierten Daten einer Anlage bzw. einer Maschine werden bis dato häufig aus verschiedenen Datenquellen bezogen und redundant, also in unterschiedlichen Systemen mit unterschiedlichen Systemsprachen, aufgezeichnet. Aufgrund der unterschiedlichen „Systemsprachen“, den vielen verschiedenen Datenquellen und Datenstrukturen sind die Systeme und folglich auch die Maschinen und Anlagen meist nicht interoperabel, was eine gezielte Datenaufbearbeitung, -verknüpfung sowie -analyse erschwert oder erst gar nicht möglich macht. Im Allgemeinen gibt es zwei Möglichkeiten digitale Systeme interoperabel zu gestalten – durch das Schaffen von weit akzeptierten Schnittstellenstandards, um eine gemeinsame Sprache für verschiedene Systeme in einem Datennetz bereitstellen zu können, oder durch den Gebrauch von IT-basierten System-Übersetzern.<sup>6</sup>

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass für die Vision einer Vierten Industriellen Revolution, auch die Instandhaltung in der Smart Factory intelligent und zukunftsfähig werden muss. Für ihre strategische Weiterentwicklung braucht die Instandhaltung Technologien für das Datenmanagement und ein gezieltes Wissensmanagement, um auch das Erfahrungswissen der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für alle verfügbar zu machen.<sup>7</sup>

## 2 Verknüpfung partieller Sichtweisen

Produzierende Unternehmen stehen ständig vor der Herausforderung qualitativ hochwertige Produkte (effektive Produktionsraten), bei einem gleichzeitig begrenzten Einsatz von Ressourcen, liefern zu müssen. Das Qualitätsmanagement, die Instandhaltung und die Produktionsplanung und -steuerung sind wesentliche Funktionen in Produktionssystemen zur Erreichung dieser Produktionsziele. Diese Aspekte wurden bis dato jedoch lediglich isoliert betrachtet, obwohl starke Zusammenhänge zwischen der Anlagenverfügbarkeit, der Produktqualität und der Systemproduktivität existieren (Abb.2). Ein geringer Bestand verbessert zum Beispiel die Fähigkeit Qualitätsprobleme im System früher erkennen zu können, sorgt aber im Gegenzug dafür, dass Anlagenstillstände aufgrund von Kapazitätsverlusten kritischer auf das System einwirken. Die Produktionsplanung und -steuerung hat somit sowohl einen Einfluss auf die Qualität, als auch auf die Instandhaltung. Des Weiteren kann durch eine hohe Anzahl von Anlageninspektionen zwar einerseits der Abbau von Ressourcen besser beurteilt werden, führen jedoch andererseits zu höheren System-Durchlaufzeiten. Somit hat das Qualitätsmanagement sowohl einen Einfluss auf die Produktionsplanung und -steuerung, als auch auf die Instandhaltung. Außerdem verbessert eine häufige Instandhaltung der Ressourcen die Teilequalität, reduziert aber gleichzeitig die Verfügbarkeit der Maschinen. Deshalb betrifft die Instandhaltung sowohl die Produktionsplanung und -steuerung als auch das Qualitätsmanagement. Obwohl Ergebnisse zeigen, dass durch eine gemeinsame Analyse und Gestaltung dieser Funktionen, eine verbesserte System-Performance und Prozessstabilität auf Systemniveau erreicht werden kann, existieren derzeit noch keine in der Praxis angewandte Methoden, welche gemeinsam die Produktionslogistik, die Qualitätsüberwachung sowie die Parameter der vorbeugenden Instandhaltung in einem mehrstufigen System betrachten.<sup>8</sup>

<sup>6</sup> Vgl. McKinsey & Company (2015), S. 24 f.

<sup>7</sup> Vgl. acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (2015), S. 8.

<sup>8</sup> Vgl. Colledani, M.; Tolio, T. (2012), S. 1.

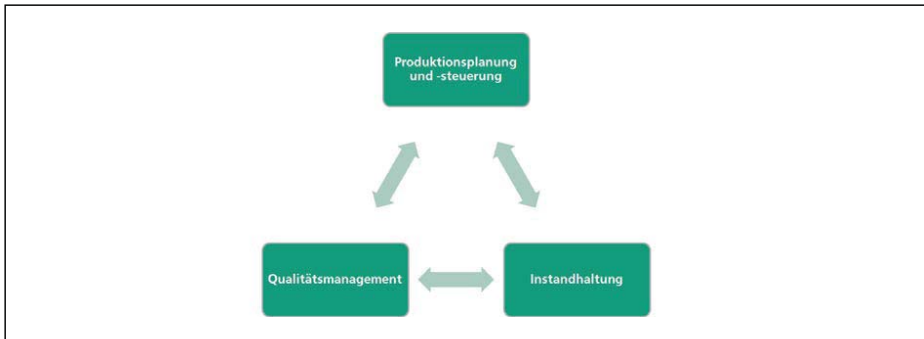


Abb. 2: Zusammenhang der Bereiche PPS, QM und IH

Um dieser gemeinsamen Betrachtung gerecht zu werden, und die damit verbundenen gewünschten Produktionsziele zu erreichen, muss ein Ansatz in Richtung eines ganzheitlichen Instandhaltungsmanagements entwickelt werden. Vor allem den stetig steigenden Anforderungen an die Produktqualität wird in traditionellen Instandhaltungsansätzen nicht genügend Aufmerksamkeit geschenkt, da diese nur als untergeordnete Größe berücksichtigt wird.<sup>9</sup>

Für die Umsetzung einer ganzheitlichen Betrachtungsweise ist es notwendig Daten aus den Bereichen Qualitätsmanagement, Instandhaltung und Produktionsplanung und -steuerung miteinander zu verknüpfen, durch gezieltes Data-Mining Muster und Zusammenhänge in den Datensätzen zu identifizieren und somit eine Frühdetektion von Fehlern im Sinne eines ganzheitlichen Instandhaltungsmanagements zu ermöglichen.<sup>10</sup>

### 3 Intelligente Instandhaltungssysteme

In diesem Kapitel soll anhand eines konkreten Beispiels gezeigt werden wie Zusammenhänge zwischen den aus verschiedenen Datenquellen generierten Daten genutzt werden können, um ein nachhaltiges und intelligentes Instandhaltungssystem zu realisieren. Mit dem Ziel die Anlagenverfügbarkeit und Produktqualität zu sichern sowie die Instandhaltungskosten und -aufwände zu optimieren.

Als Beispiel dient eine CNC-Werkzeugmaschine, welche voll automatisiert mit den zu bearbeitenden Teilen beladen wird. Die fertig bearbeiteten Teile werden anschließend, ebenfalls voll automatisiert, auf Paletten gestapelt. Die gesamte, mit Sensoren ausgestattete, Anlage wird über ein Automatisierungs-Steuerungssystem (z.B. SIMATIC S7-400 der Firma Siemens) gesteuert und geregelt. Dieses Steuerungssystem ist an diversen elektrischen und pneumatischen Aktoren der unterschiedlichen Antriebe, sowie an etlichen Sensoren angeschlossen. Ein weiteres Softwaresystem wird zur OEE-Analyse der Anlage verwendet.

<sup>9</sup> Vgl. Siener, M.; Aurich, J.C. (2011), S. 34.

<sup>10</sup> Vgl. acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (2015), S. 12.

### 3.1 Maschinensteuerung-Daten

Die Kernaufgaben des automatisierten Steuerungssystems sind die Steuerung und Regelung der einzelnen Anlagenfunktionen. Neben diesen Kernaufgaben können durch den Einsatz von Datenloggern auch sämtliche Statusmeldungen und Prozessdaten aus dem Steuerungssystem ausgelesen und zyklisch, z.B. alle 4 Minuten, in eine csv.-Datei gespeichert werden. Das csv.-Dateiformat beschreibt den Aufbau einer Textdatei zum Austausch einfach strukturierter Daten, wobei es in diesem Beispiel dazu dient einfache Tabellen abzubilden in denen alle rückgemeldeten Statusänderungen der Anlage gespeichert werden. In der Statusmeldung-csv.-Datei werden also Ereignisse und Vorgänge, welche an der Maschine auftreten, mit einem Zeitstempel (Uhrzeit) versehen und gespeichert.

#### 3.1.1 Beispiel einer generierten Statusmeldung-csv.-Datei:

Tab. 1: Statusmeldung Daten

Statusmeldung-Daten			
Datum	Zeitstempel	Anlagenbereich	Statusmeldung
16.07.2016	15:04:03	23	Volle Palette laden
16.07.2016	15:05:11	190	Material aufgenommen
16.07.2016	15:05:17	57	Fehler Spannbacke
16.07.2016	15:06:21	27	Leere Palette laden
16.07.2016	15:07:53	195	Material abgelegt
16.07.2016	15:08:21	57	Spannbacke geschlossen
16.07.2016	15:09:43	68	Start Spindel

### 3.2 OEE-Daten

Die Abkürzung OEE steht für den Begriff Overall-Equipment-Effectiveness und wird auch als Gesamtanlageneffektivität bezeichnet. Ein Softwaresystem wird zur OEE-Analyse der Anlage verwendet. Über spezifische Sensoren in der Anlage erfolgt eine Überprüfung der Taktsequenz der Anlage. Sobald der Materialfluss unterbrochen ist registriert das System diese Unterbrechung. Bei einer Unterbrechung von über 2 Minuten wird ein „Stillstand“ gemeldet und eine entsprechende Meldung generiert und angezeigt. Basierend auf diesen Informationen erstellt das System automatisiert eine OEE-Auswertungen zu der Anlage. Die einzelnen Daten aus dem System können wieder in einer csv.-Datei gespeichert werden. Das System kann dabei aber nicht identifizieren, aus welchem Grund die Anlage stillsteht.

#### 3.2.1 Beispiel einer generierten OEE-csv.-Datei:

Tab. 2: OEE Daten

OEE-Daten			
Datum	Uhrzeit	Dauer	Status
16.07.2016	12:26:45	00:00:53	Produziert
16.07.2016	15:04:03	00:01:21	Produziert
16.07.2016	15:05:17	00:03:04	Stillstand
16.07.2016	15:10:21	00:01:37	Produziert

### 3.3 Korrelation der Daten über einen Zeitstempel

Um die Informationen aus den vorhandenen Datensystemen im Sinne eines intelligenten Instandhaltungssystems nutzen zu können ist es erforderlich, eine Korrelation zwischen den unterschiedlichen Datensystemen zu erzielen.

Durch einen eindeutigen Schlüssel (Zeitstempel) in den OEE-Daten ist eine Korrelation mit den Statusmeldung-Daten möglich. In Abb. 3 wird beispielhaft eine Korrelation über einen Zeitstempel am 16.07.2016 um 15:05:17 dargestellt.

OEE-Daten			
Datum	Uhrzeit	Dauer	Status
16.07.2016	12:26:45	00:00:53	Produziert
16.07.2016	15:04:03	00:01:21	Produziert
16.07.2016	15:05:17	00:03:04	Stillstand
16.07.2016	15:10:21	00:01:37	Produziert

Statusmeldung-Daten			
Datum	Zeitstempel	Anlagenbereich	Statusmeldung
16.07.2016	15:04:03	23	Volle Palette laden
16.07.2016	15:05:11	190	Material aufgenommen
16.07.2016	15:05:17	57	Fehler Spannbacke
16.07.2016	15:06:21	27	Leere Palette laden
16.07.2016	15:07:53	195	Material abgelegt
16.07.2016	15:08:21	57	Spannbacke geschlossen
16.07.2016	15:09:43	68	Start Spindel

Korrelation

Abb. 3: Korrelation der OEE- und Statusmeldung-Daten

Durch diese Korrelation ist entsprechend die Information vorhanden, dass es sich um einen Stillstand in dem Anlagenbereich 57 handelt. Außerdem ist über die Statusmeldung direkt ein Rückschluss auf den Störgrund (Fehler Spannbacke) ersichtlich. Diese Information kann wieder in eine Datei gespeichert werden (Tab. 3), um diese für sämtliche Systeme verfügbar zu machen.

Tab. 2: Generierte Information durch Korrelation

OEE-Daten				Statusmeldung-Daten		
Datum	Status	Dauer	Zeitstempel	Zeitstempel	Anlagenbereich	Statusmeldung
16.07.2016	Stillstand	00:03:04	15:05:17	15:05:17	57	Fehler Spannbacke

### 3.4 Möglichkeiten durch weitere Korrelationen

Durch die intelligente Verknüpfung von vorhandenen und nutzbaren Daten, aus unterschiedlichen Systemen über einen eindeutigen Schlüssel, werden instandhaltungsrelevante Informationsflüsse in einem System zusammengeführt, wodurch eine Grundlage für die effiziente Analyse zur Planung und Durchführung der Instandhaltungstätigkeiten entsteht. Diese Verknüpfung vorhandener Daten ist selbstverständlich in selbiger Logik auch mit weiteren Systemen ausweitbar. Beispielsweise könnten durch optische Prüfsysteme in der Anlage, Daten auf einzelner Produktebene zu den jeweiligen Produktqualitäten erhoben und ausgewertet werden. Basierend auf dem impliziten Wissen der Maschinenbediener kann nach Auswertung der Daten auf spezifische Fehlerursachen und deren Problemlösung geschlossen werden. Durch den Einbezug eines Instandhaltungssystems, über welches Wartungspläne angelegt, verwaltet und überwacht werden können, wäre es durch eine gezielte Korrelation der Daten möglich bei einem Stillstand, gleichzeitig einen bald notwendigen Wartungsauftrag auszulösen, welcher sämtliche notwendigen Informationen wie z.B. Datum, Auftragsfall: Störung/ Wartung/ Reparatur; Anlagenbereich; notwendige Qualifikation zur Durchführung der Maßnahme, Problem-

beschreibung; Hinweise zur Problemlösung aus historischen Daten, enthält. Durch die automatisierte Verknüpfung aller relevanten Informationen aus unterschiedlichen Systemen werden manuelle Eingaben der Mitarbeiter reduziert wodurch Verwaltungsaufwände für das Personal entfallen und die Reaktionszeiten der Instandhaltungsteams deutlich verkürzt werden.

Den Mitarbeitern können diese generierten Aufträge, beispielsweise über mobile Systeme (Tablet, Smartphone, PDA, usw.), angezeigt werden und somit als „Kognitives Assistenzsystem“ dienen. Ist der Auftrag erledigt hat der Mitarbeiter die Möglichkeit, eine mit Informationen angereicherte Rückmeldung, wie Bemerkungen, Erfahrungen, Probleme bei der Ausführung usw. an das System zu übermitteln. Diese Informationen werden in einem integrierten Wissensmanagementsystem erfasst, aufgearbeitet und bei einer wiederholten Generierung des Auftrages berücksichtigt. Über dieses Prinzip steigt der Informationsgehalt eines Auftrages. Sämtliche Informationen und KPIs der Anlage und der Instandhaltung werden transparent visualisiert.

#### 4 Integrativer Ansatz zur antizipativen Instandhaltungsplanung

Ein wesentliches Instrument zur Auswahl optimaler Instandhaltungsmaßnahmen und -zeitpunkte, stellt die Strategieplanung der Instandhaltung dar.<sup>11</sup> Die derzeitige Situation hinsichtlich der Instandhaltungsstrategieplanung macht deutlich, dass Unternehmen diese meist lediglich aus Sicht eines bestimmten Blickwinkels, nämlich aus Prozess-/Produktions-, Produkt- oder Maschinensicht, entwickeln bzw. optimieren, abhängig davon welche unternehmenspolitischen Ziele im Vordergrund stehen. Diese partiellen Sichtweisen mit fehlender antizipativer Tauglichkeit bieten jedoch nur einen eingeschränkten Blickwinkel auf die Gesamtsituation.

Beispielhaft wird jeweils eine Instandhaltungsstrategie für die partiellen Sichtweisen genannt:

- **Prozess-/Produktionssicht:** Vorbeugende Instandhaltung zur Vermeidung von Bandausfällen
- **Produktsicht:** Werkzeugwechsel bei schlechter werdender Oberfläche
- **Maschinensicht:** Condition Monitoring (regelmäßige oder permanente Maschinenzustands-Erfassung)

Die meisten Instandhaltungsstrategien konzentrieren sich hauptsächlich auf die Maschinenebene und die Ausfalleffekte verschiedener Komponenten.<sup>12</sup> Es gibt jedoch auch Ansätze und Bestrebungen Qualitäts- und Instandhaltungs-Perspektiven durch die Verknüpfung von Produkt-Messdaten mit Ausfalleffekten verschiedener Komponenten miteinander zu kombinieren. Die stetig zunehmenden Anforderungen an eine qualitativ hochwertige Produktion erfordern eine konsequente Ausrichtung der Produktqualität und der Instandhaltungsplanung.<sup>13</sup> Folglich lässt sich eine Kohärenz zwischen dem degradierten Maschinensystem und den qualitätsrelevanten Eigenschaften ableiten.<sup>14</sup> Beispielsweise kann durch eine optische Überprüfung der Oberfläche eines Frästeiles die Produktqualität überprüft werden. Wenn diese einen gewünschten Grenzwert unterschreitet muss das Fräswerkzeug ausgetauscht werden.

Ein weiterer Ansatz ist die Entwicklung einer belastungsorientierten Instandhaltung. Belastungsorientierte Instandhaltungsstrategien bestimmen die verbleibende Lebensdauer auf Basis

<sup>11</sup> Vgl. Matyas, K. (2013), S. 21.

<sup>12</sup> Vgl. Siener, M.; Aurich J.C. (2011) S. 15 ff.

<sup>13</sup> Vgl. Siener, M.; Aurich J.C. (2011) S. 15 ff.

<sup>14</sup> Vgl. Aurich, J.C et al. (2006) S. 669 ff.



vorherrschender Belastungen in der Maschine und externer Messparameter. Um Instandhaltungsintervalle planen zu können werden die Maschinen- und Prozessebene, durch die Verbindung des Produktionsprogrammes mit den Ausfalleffekten von Komponenten, verknüpft.<sup>15</sup> Jedes Produktionsprogramm bzw. jeder zu fertigende Produkttyp verursacht unterschiedliche Belastungen an der Maschine. Wenn diese Belastungen bekannt sind kann folglich auf den Verschleißverlauf geschlossen werden. Diese Ansätze zeigen zwar eine positive Entwicklung auf, eine ganzheitliche Lösung welche die Produkt-, Qualitäts- und die Prozesssicht miteinander verknüpft wurde bisher jedoch noch nicht realisiert.

Um den Herausforderungen einer ganzheitlichen Betrachtung, und somit der Schaffung einer prädikativen Instandhaltung, gerecht zu werden, ist die Entwicklung eines Instandhaltungs-Modells, welches Daten aus verschiedenen Quellen verknüpft, erforderlich. Dieses Modell schlägt aufgrund aktuell eingehender Echtzeit-Maschinensteuerungsdaten und Vergangenheitsdaten (Qualitätsdaten, Produktionsprogrammdaten und Ausfalldaten) (siehe Abb. 4), zwischen denen ein eindeutiger belegter Zusammenhang besteht (siehe Kapitel 2), Maßnahmen für eine antizipative Instandhaltung vor und prognostiziert zusätzlich den Ausfallzeitpunkt der Anlage.<sup>16</sup> Die Grundlage hierfür bildet ein Regelwerk zur ganzheitlichen Instandhaltungsstrategiewahl, welches zusätzlich durch zustandsorientierte Störungsdiagnostiken wie etwa ein Simulationsverfahren und ein datenbasiertes Verfahren wie Data-Mining unterstützt wird.<sup>17</sup>

Die Entwicklung eines solchen Instandhaltungs-Modells in Form eines Leitstandes ist Ziel des durch die FFG (Forschungsförderungsgesellschaft) geförderten Forschungsprojektes „Instandhaltung 4.0“. Das Projektconsortium besteht aus dem Institut für Managementwissenschaften, als Konsortialführer, dem Institut für Fertigungstechnik (IFT), beide von der TU Wien, dem Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften (WBW) der Montanuniversität Leoben, der Pimpel GmbH und der Opel Wien GmbH. Es werden Daten aus der Qualitätssicherung, dem Produktionsprogramm, der Instandhaltungsdatenbank und eines Simulators miteinander verknüpft um in Verbindung mit Schlüssen aus einem Data-Mining-Modelles ein Regelwerk für die prädikative Instandhaltung abzuleiten.

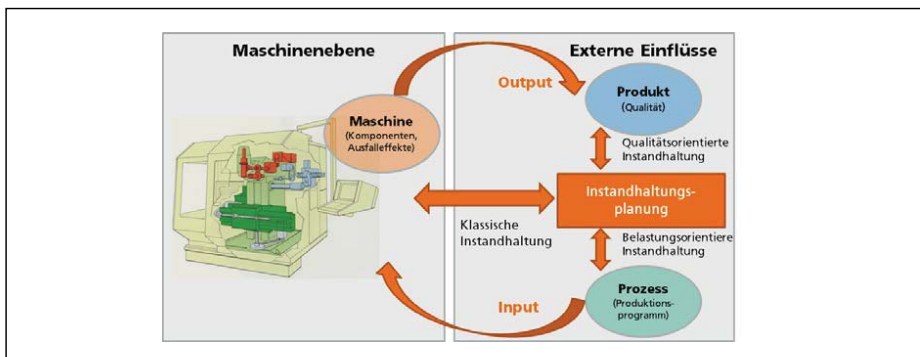


Abb. 4: Kombination von Maschinen-, Produktqualitäts- und Prozessdaten

<sup>15</sup> Vgl. Boog, M. (2011)

<sup>16</sup> Vgl. Matyas, K. (2013), S. 21.

<sup>17</sup> Vgl. Nemeth, T. et al. (2015), S. 569 ff.

Die Methodik dieses Instandhaltungs-Leitstandes, welche anhand von 4 Schritten umgesetzt wird, sowie die damit erzielbaren Ergebnisse, werden in den nachfolgenden Unterkapiteln beschrieben.<sup>18</sup>

#### **4.1 Schritt 1: Framework-Entwicklung**

In diesem Schritt werden sämtliche Betriebsmittel bis auf Komponentenebene strukturiert dargestellt um das Verhalten des betrachteten Systems, in diesem konkreten Anwendungsfall ein System aus mehreren Werkzeugmaschinen, in seinem vollen Funktionsumfang zu erfassen. Den Elementen werden aufgezeichnete Maschinen- sowie Belastungsdaten, beispielsweise Positionen der Werkzeugschlitten, Stromaufnahme der Antriebseinheiten, Werte von Beschleunigungs- und Temperatursensoren, zugeordnet und real auftretende Lastkollektiv erfasst.

#### **4.2 Schritt 2: Datenanalyse- und Simulationsstudie**

Parallel zu Schritt 1 werden historische Maschinen-, Produktqualitäts- und Prozessdaten ausgewertet. Das Generieren von Ursache-Wirkungszusammenhängen aus diesen Datensätzen ermöglicht einerseits die systematische Identifikation von Ausfalleffekten und andererseits das Ableiten von instandhaltungsrelevanten Maschinenparametern. Durch das angewandte Simulationsverfahren können in Verbindung mit Werkzeugdaten Prozesskräfte abgeschätzt werden, woraus als Ergebnis bereits zukünftig auftretende Lastkollektive für ein entsprechendes NC-Programm abgeleitet werden können.

#### **4.3 Schritt 3: Identifikation von Belastungseinflüssen**

Anschließend können die Belastungsprofile von Maschinen gleicher Bauart, aber unterschiedlichem Produktspektrum verglichen und mit den über den betrachteten Zeitraum aufgezeichneten Ausfallsprotokollen in Verbindung gebracht werden, um Aussagen über verschleißbestimmende Einflussgrößen zu erhalten. In weiterer Folge können unterschiedliche Belastungsszenarien in dem entwickelten Simulator durchlaufen und somit die möglichen Belastungsfälle klassifiziert und validiert werden.

#### **4.4 Schritt 4: Entwicklung eines integrativen Instandhaltungs-Ansatzes**

Im letzten Schritt werden allgemein gültige Regeln aus den zuvor ermittelten Datensätzen entwickelt. Die Ableitung der Planungsregeln soll dabei durch die Anwendung von Data-Mining Methoden, zur Erkennung von aussagekräftigen Mustern, unterstützt werden. Mittels den verwendeten Data-Mining Methoden und der Verknüpfung im Leitstand können halbautomatische und regelbasierte Datenverknüpfungen durchgeführt werden.

#### **4.5 Erzielbare Ergebnisse**

Mit Hilfe der generierten Informationen und der Verknüpfung dieser mit aktuellen Planungsdaten aus der Produktion, können folgende Ergebnisse im Leitstand erzielt werden:

- Transparente Darstellung über relevante Kennzahlen und Kosten in der Instandhaltung

<sup>18</sup> Vgl. Nemeth, T. et al. (2015), S. 570 f.

- Transparenz über den aktuellen Anlagenzustand, z.B. Abnutzungsvorrat und Verschleißentwicklung der Komponenten
- Visualisierung von zukünftigen Produktqualitäts- und Verschleißtrends
- Vorschläge zu zukünftig notwendigen Instandhaltungsmaßnahmen unter Berücksichtigung von instandhaltungsstrategischer Prioritäten, Ersatzteilbevorratung und ggf. weiteren externen Einflussgrößen

## 5 Ausblick

Für weitere Forschungsaktivitäten wäre es nun interessant, die vorgestellte antizipative Instandhaltungsstrategie in der Produktionsplanung und -steuerung zu integrieren. Somit wäre es möglich anstehende Instandhaltungsmaßnahmen dynamisch und echtzeitbasiert mit dem Produktionsprogramm abzustimmen, um somit Kapazitätsverluste und Kosten möglichst gering zu halten, sowie die Liefertermintreue nicht zu gefährden. Der Weg in Richtung „Smart Maintenance“ und damit auch die „Smart Factory“ ist damit gelegt.

## 6 Literatur

- acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften. (2015): Smart Maintenance für Smart Factories - Mit intelligenter Instandhaltung die Industrie 4.0 vorantreiben. In: acatech (Hrsg.) acatech Position Oktober 2015, ISBN:978-3-8316-4493-3
- Aurich, J.C.; Siener, M.; Wagenknecht C. (2006): Quality Oriented Productive Maintenance within the life cycle of a manufacturing system. In: 13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, S.669–673.
- Boog, M. (2011): Steigerung der Verfügbarkeit mobiler Arbeitsmaschinen durch Betriebslastfassung und Fehleridentifikation an hydrostatischen Verdrängereinheiten. In: Karlsruher Schriftenreihe Fahrzeugsystemtechnik 4. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing.
- Colledani, M.; Tolio, T. (2012): Integrated Quality, Production Logistics and Maintenance Analysis of Multi-Stage Asynchronous Manufacturing Systems with Degrading Machines. In: CIRP Annals - Manufacturing Technology 61 (1). S.455–458.
- Matyas, K. (2013): Instandhaltungslogistik: Qualität und Produktivität steigern. München: Carl Hanser Verlag GmbH Co KG. ISBN-103446423761. S. 21.
- McKinsey & Company. (2015): The Internet of Things: Mapping the value beyond the hype. In: McKinsey Global Institute Executive Summary
- Nemeth, T.; Bernstätter, R.; Glawar, R.; Matyas, K.; Sihn, W. (2015). Instandhaltung 4.0: Sicherstellung von Produktqualität und Anlagenverfügbarkeit durch einen echtzeitbasierten Instandhaltungsleitstand. ZWF09/2015. München: Carl Hanser Verlag. S.569–573.
- Siener, M.; J.C. Aurich. (2011): Quality Oriented Maintenance Scheduling . In: CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 4 (1): S. 15–23.

# Lean Smart Maintenance

Wertschöpfende, lernorientierte und ressourceneffiziente Instandhaltung

**Hubert Biedermann**

*Neben den technologischen Herausforderungen bergen die unter dem Schlagwort Industrie 4.0 zusammengefassten Entwicklungen ökonomische, wertschöpfende Potenziale die durch innovative Geschäftsmodelle zu realisieren sind. Das hier vorgestellte Inhaltsmodell zeigt die wesentlichen Bausteine mit ihrer inhaltlichen Ausgestaltung und deren Wechselbeziehungen zum Konzept „Lean Smart Maintenance“ auf.*

## 1 Einleitung

Die Instandhaltung steht vor der Herausforderung den weiter zunehmenden Anforderungen an Zuverlässigkeit und Sicherheit der Anlagensysteme unter dem Aspekt der industriellen Digitalisierung und der sinkenden Kosten von IoT-Technologien zu entsprechen. Hierzu sind die Geschäftsmodelle der Instandhaltung so anzupassen, dass sie die Möglichkeiten von Industrie 4.0 und Big Data aufgreifen und einen dauerhaften Wertschöpfungsbeitrag generieren. Das hier vorgestellte Inhaltsmodell „Lean Smart Maintenance“ ermöglicht die Entwicklung zur Dynamisierung und situationsgerechten Anpassung der Instandhaltungsstrategie ebenso wie die Ausgestaltung einer schlanken, ressourceneffizienten Instandhaltung.

## 2 Ausgangssituation

Die in zahlreichen Branchen vorherrschende Marktdynamik mit sich stetig verändernden Rahmenbedingungen insbesondere der laufenden Veränderung des Produktsortiments und damit den Anforderungen an die Anlagenstruktur verlangt eine proaktive bis adaptive Veränderung von Unternehmen. Die industrielle Digitalisierung durch Internet of Things (IoT), Big Data Lösungen, von augmented reality und analytischer Intelligenz verbunden mit sinkenden Kosten von IoT-Technologien versprechen Lösungen mit hohen Nutzeffekten. Die Geschäftsmodelle in deren Zentren Prozesse stehen, die sich zunehmend durch intelligente Mensch-Maschine-Interaktionen in Form von innovativen Assistenz-Systemen zur Entscheidungsunterstützung auszeichnen, bedeuten die Vernetzung von räumlich verteilten Produktionsressourcen einschließlich deren Planungs- und Steuerungssysteme. Letztere sind gekennzeichnet durch kleiner werdende Lose bis Losgröße 1, Mensch-Maschine-Kollaboration, intelligente bzw. Echtzeitsteuerung und eine generelle Autonomisierung der Produktion.

Allerdings liegt derzeit noch ein geringer Umsetzungsgrad von Lösungen in Richtung Industrie 4.0 in Unternehmen vor, wobei die systematische Umsetzung vor allem im Bereich Predictive Analytics in den nächsten 5 Jahren von vielen Unternehmen geplant ist<sup>1</sup>. In der

<sup>1</sup> Vgl. Pierre Andoin Consultants (2014)

Instandhaltung findet zwar die vorbeugende Instandhaltung Anwendung, wobei hohes Entwicklungspotenzial einerseits bei der Nutzung von Echtzeitdaten zur Instandhaltungsplanung und -steuerung und damit zur Instandhaltungseffizienzsteigerung sowie andererseits der Informationsgewinnung in Richtung der Strategieanpassung durch Ursachen-Wirkungs-Analysen besteht. Es muss das Ziel sein, die Umsetzungsgeschwindigkeit zu erhöhen und die sich abzeichnenden Entwicklungspfade in Richtung Smart- bzw. Lean Smart Maintenance zu beschreiten. Vor dem Hintergrund beschreibt dieser Beitrag das Geschäftsmodell „Lean Smart Maintenance“ in seiner inhaltlichen Dimension.

### 3 Lean Smart Maintenance (LSM)

Die LSM ist ein ganzheitliches Managementkonzept mit dem Ziel höchsten Zuverlässigkeits- und Verfügbarkeitsansprüchen bei kritischen Anlagenkomponenten ebenso zu entsprechen wie einer verlustminimierenden Instandhaltungsdurchführung und -organisation. Das Ziel ist es, einen langfristigen Wertschöpfungsbeitrag für das betreffende Unternehmen zu generieren. Abb. 1 zeigt das LSM-Haus mit seinen wesentlichen Bausteinen, die im Zusammenwirken eingebettet in ein entwickeltes Vorgehensmodell und durch Unterstützung eines adäquaten IT-basierten Controlling - Systems den Reifegrad der Instandhaltung in Richtung Prognosefähigkeit und Adaptabilität erhöhen<sup>2</sup>. In weiterer Folge werden die einzelnen Elemente näher beschrieben und auf die in der Praxis implementierten Bausteine verwiesen.

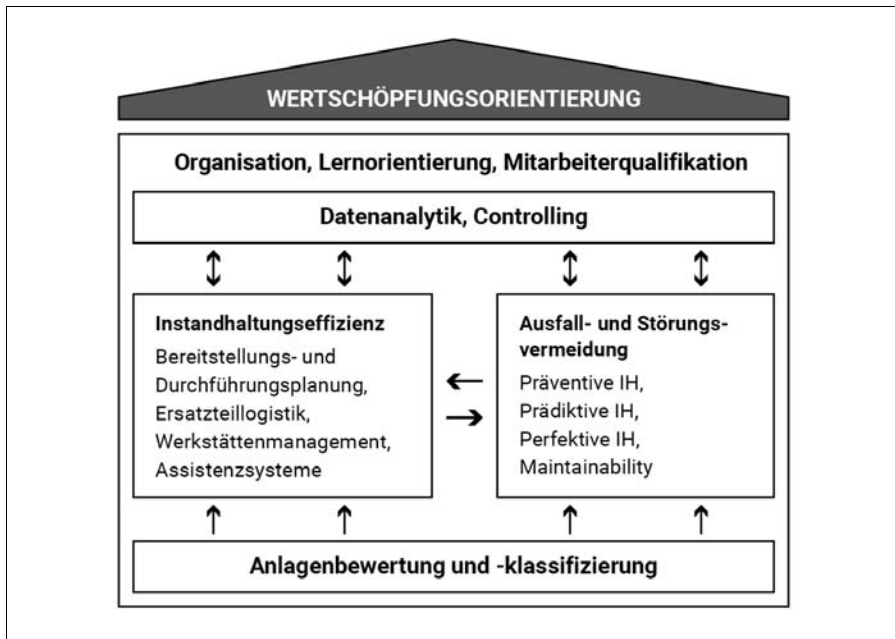


Abb. 1: Lean Smart Maintenance

<sup>2</sup> Vgl. Biedermann, H. (2016)