



Bausteine und Wege des Wandels

TÜV Media

# Erfolg durch Lean Smart Maintenance

H. Biedermann (Hrsg.)

# Erfolg durch Lean Smart Maintenance

- Leseprobe -

# 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.

- Leseprobe -

**Praxiswissen Instandhaltung**

**Bausteine und Wege des Wandels**

**31. Instandhaltungsforum**

**TÜV Media**

# Erfolg durch 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 978-3-7406-0270-3

© by TÜV Media GmbH, TÜV Rheinland Group, Köln 2018  
® TÜV, TUEV und TUV sind eingetragene Marken. Eine Nutzung und Verwendung bedarf der vorherigen Zustimmung.  
Gesamtherstellung: TÜV Media GmbH, Köln 2018

## Inhaltsverzeichnis

<b>Autorenverzeichnis</b>	7
<b>Anlagenübergreifende Dateninfrastruktur zur proaktiven Instandhaltung und Prozessverbesserung</b>	11
Ulrich Lettau	
<b>Lean Smart Maintenance – Controlling: Die Schwachstellenanalyse als zentrales Element im Führungssystem der Instandhaltung</b>	23
Hubert Biedermann	
<b>Meilensteine auf dem Weg zur Smart Maintenance</b>	37
Timo Veith	
<b>Effizienzsteigerung in der Instandhaltung: Strukturiertes Vorgehen zur Verbesserung der Leistung der Instandhaltung in einem Unternehmen der Stahlindustrie</b>	43
Jörg Uhlig, Anna-Maria Leitner, Udo Gläsel, Simon Winkelmann, Andreas v. Gisteren	
<b>Herausforderungen in der Ausgestaltung von Industrie-4.0-Lösungen: Interface-Design zwischen Kunde und Provider</b>	65
Kai Lorentzen	
<b>Best Practice durch Benchmarking: Weiterentwicklung der Instandhaltungsorganisation am Beispiel des Maintenance Award Austria</b>	83
Hanna Jöchlinger, Johann Jungwirth	
<b>Informationsmanagement und -technologien in der Instandhaltung: Einsatz von digitalen Lösungen beim Anlauf und im laufenden Betrieb</b>	113
Christoph Jaschinski	
<b>Predictive Maintenance: Entwicklung eines cyber-physischen Predictive-Maintenance-Systems basierend auf einem Low-Cost-Sensorkit und Data Analytics</b>	121
Patrick Strauß, René Wöstmann, Jochen Deuse	
<b>Dynamische Grenzwerte für intelligente Instandhaltung: Maschinelles Lernen um den Gesundheitszustand von Maschinen automatisch mit hoher Genauigkeit zu erkennen</b>	143
Patrick Bangert	

<b>Vernetzte Maschinen – Vernetzte Instandhaltung: Daten als Quelle der Wertschöpfung für Produktion und Instandhaltung nutzen</b>	<b>149</b>
Alexander Meisinger, Kurt Gruber	
<b>Schwachstellenanalyse zur Gewährleistung der Handlungsfähigkeit in komplexen Systemen: Klassische Methoden unterstützt durch datengetriebene Ansätze</b>	<b>163</b>
Robert Bernerstätter, Robin Kühnast	
<b>Optimierung des anlagenspezifischen Instandhaltungsstrategiemix am Beispiel eines komplexen Fertigungssystems: Smart Maintenance in der mechanischen Fertigung</b>	<b>185</b>
Alfred Kinz, Werner Schröder, Theresa Passath, Patrick Praher, Bernhard Freudenthaler	
<b>Total Productive Management: Weltweites Roll-Out in einem Konzern</b>	<b>217</b>
Matthias Duddeck	
<b>Service 4.0 und Predictive Maintenance: Zwischen Vision und Wirklichkeit</b>	<b>235</b>
Sebastian Feldmann	

- Leseprobe -

## Autorenverzeichnis

**Patrick Bangert**

Dr., CEO  
algorithmica technologies GmbH  
Hannover

**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

**Jochen Deuse**

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

**Matthias Duddeck**

Leiter TPM-Management  
Evonik Ressource Efficiency GmbH  
Marl

**Sebastian Feldmann**

Dipl.-Kfm., MBA, Partner  
Roland Berger GmbH  
München

**Bernhard Freudenthaler**

Dr., Executive Head Data Analysis Systems  
Software Competence Center Hagenberg  
Hagenberg

**Udo Gläsel**

Fachgebietsleiter Rechnergestützte Instandhaltung  
Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH  
Duisburg

**Kurt Gruber**

Head of Business Unit After Sales  
STIWA Automation GmbH  
Attnang-Puchheim

**Christoph Jaschinski**

Dr.-Ing., Chef Sales Officer / Global Board of Management  
Leotec Holding GmbH  
Stuttgart

**Hanna Jöchlinger**

MSc., Wissenschaftliche Mitarbeiterin  
Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften  
Montanuniversität Leoben

**Johann Jungwirth**

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

**Alfred Kinz**

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

**Robin Kühnast**

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

**Anna-Maria Leitner**

Dipl.-Ing. Leitung Projekte Prozessmanagement  
Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH  
Duisburg

**Ulrich Lettau**

Dr.-Ing., CEO  
iba AG  
Fürth

**Kai Lorentzen**

Dr.-Ing., Solution Manager  
Robert Bosch GmbH  
Reutlingen

**Alexander Meisinger**

Mag. MSc, Head of Sales  
STIWA Automation GmbH  
Attnang-Puchheim

**Theresa Passath**

Dipl.-Ing., Wissenschaftliche Mitarbeiterin  
Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften  
Montanuniversität Leoben

**Patrick Praher**

MSc, Researcher Data Analysis Systems  
Software Competence Center Hagenberg  
Hagenberg

**Werner Schröder**

Dr.mont., Leiter Instandhaltung Mech. Fertigung  
BMW Group Werk Steyr  
Steyr

**Patrick Strauß**

MSc., Doktorand  
BMW Group  
München

**Jörg Uhlig**

Dr.-Ing., Teamleiter Projekte Stahlwerk  
Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH  
Duisburg

**Timo Veith**

Leiter Instandhaltung Produktionsanlagen  
Volkswagen Sachsen GmbH  
Chemnitz

**Andreas van Gisteren**

Dipl.-Ing. Leitung Projekte Prozessmanagement  
Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH  
Duisburg

**Simon Winkelmann**

BEng, Teamleiter Methoden und Systeme  
Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH  
Duisburg

**Rene Wöstmann**

MSc., Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Institut für Produktionssysteme  
TU Dortmund

- Leseprobe -

- Leseprobe -

# Anlagenübergreifende Dateninfrastruktur zur proaktiven Instandhaltung und Prozessverbesserung

Ulrich Lettau

*Aufgrund des Zusammenwachsens von Automatisierungstechnik mit IT-Technologien verändert sich auch die Aufgabe der Instandhaltung. In den meisten Produktionsanlagen sind Automatisierungslösungen unterschiedlicher Hersteller und unterschiedlichen Alters im Einsatz. Komplexe technische Prozesse vor diesem Hintergrund anlagenübergreifend und unverfälscht zu erfassen, zu analysieren und daraufhin zu optimieren ist eine Herausforderung und kann über den gesamten Lebenszyklus einer Anlage nur über datenbasierte Ansätze beherrscht werden. Dabei ist es wichtig, das dynamische Prozessverhalten einer Anlage in seiner Gesamtheit zu erfassen und zu verstehen, um im Hinblick auf Fehlerbeseitigung und Optimierung sicher und richtig reagieren zu können.*

*Anhand eines am Markt etablierten Mess-systems wird ein vierstufiges Vorgehensmodell vorgestellt, das es ermöglicht, Produktions-, Prozess- und Qualitätsdaten auf einer firmenübergreifenden digitalen Plattform bereitzustellen.*

*Damit werden Instandhalter in die Lage versetzt, komplexe Produktionsprozesse transparent zu machen, diese autonom zu überwachen, zu analysieren und zu optimieren.*

*Abschließend wird noch auf die Möglichkeiten eingegangen, durch die Sensorik der Automatisierung nicht erfassbare Effekte mittels einer mit den Messdaten synchronisierten Aufzeichnung von Videodaten begreif- und beherrschbar zu machen.*

## 1 Motivation – Warum überhaupt Daten erfassen?

Maschinen und Anlagen in technischen Prozessen arbeiten heutzutage weitgehend automatisiert, d.h. selbstständig und ohne die unmittelbare Mitwirkung von Menschen. Gleichzeitig werden bereits automatisierte Anlagen noch weiter modernisiert und automatisiert, um den Prozess – und damit auch die in diesem Prozess produzierten Produkte – kontinuierlich zu verbessern und zu optimieren. Die immer weiter fortschreitende Automatisierung technischer Prozesse wie z. B. in Fertigungs-, Verpackungs- und Energieverteilungsanlagen oder Prüfständen und die damit verbundene, für den menschlichen Betrachter nicht mehr direkt erfassbare Komplexität erfordert Methoden und Hilfsmittel zur Optimierung dieser Prozesse.

Eine Voraussetzung für die Prozessoptimierung – unter welcher Zielsetzung auch immer – ist es, die technologischen Abläufe im Detail zu verstehen. Nur wenn es gelingt, den Prozess und dessen dynamisches Verhalten mit den Wechselwirkungen zwischen den Prozesskomponenten transparent zu machen, kann dieses auch analysiert und optimiert werden. Da moderne Automatisierungssysteme und die automatisierten Prozesse immer schneller und komplexer werden, sind Hilfsmittel notwendig, um die Komplexität zu reduzieren und diese beherrschbar zu machen. So sind z.B. interne Programmabläufe von außen im Detail nicht beobachtbar, da nur die Auswirkungen nach außen hin sichtbar sind.

Außerdem ist es schwierig, vom beobachteten Prozessverhalten auf den Ablauf in der Software zu schließen, da es sich bei Automatisierungssystemen im Allgemeinen um ein sogenanntes „Verteiltes System“ handelt. Es wird demnach mehr als ein Rechner verwendet. Darüber hinaus interagieren mehrere gleichlaufende Software-Programme über verschie-

den Kommunikationsmechanismen auf mehreren Steuerungen – also auf mehreren Computern, Rechnern, CPUs, Prozessoren in der Automatisierung – miteinander und haben zeitliche und funktionale Wechselwirkungen.

Eine bewährte Methode, um Komplexität beherrschbar zu machen, besteht darin, das dynamische Prozessverhalten an charakteristischen Stellen zu erfassen, geeignet aufzuzeichnen und dieses dann basierend auf den aufgezeichneten Daten zu analysieren und zu optimieren. Die Datenerfassungsgeräte müssen dafür in der Lage sein, unterschiedliche Prozesswerte und -signale wie Analog- und Digitalsignale, Bussignale, interne Steuerungsdaten, Produktkennwerte, technologische Werte, Kommunikationsdaten und Videobilder zu erfassen, gemeinsam zeitsynchronisiert aufzuzeichnen und langzeitverfügbar abzuspeichern.

## 2 Einsatzgebiete eines Messsystems

### Störungen überwachen und im Prozess vermeiden

Ein wichtiger Aspekt beim Betreiben eines automatisierten Prozesses ist die Vermeidung kritischer Prozesssituationen, die Auswirkungen auf die Anlagensicherheit, die Arbeitssicherheit und die Umwelt haben können. Hier muss es nicht nur möglich sein, Störungen frühzeitig zu detektieren und zu melden, sondern durch eine kontinuierliche Überwachung des Anlagenzustands ganz zu vermeiden und die Ursachen, die zu einem Fehler führen können, bei deren Auftreten sofort aufzuzeigen (root cause analysis). Störungen, die im Allgemeinen sukzessiv und schleichend eintreten, sind schwer zu erkennen. Dies kann dazu führen, dass dadurch hervorgerufene Unregelmäßigkeiten mitunter erst beim Abnehmer des Produkts aufgedeckt werden. Dies kann schwerwiegende wirtschaftliche Auswirkungen haben, wenn das Ansehen und die Reputation des Herstellers aufgrund mangelnder Qualität beim Endkunden in Mitleidenschaft gezogen werden. Solche Auswirkungen sind finanziell nicht zu kalkulieren, können jedoch langfristig betrachtet negative Auswirkungen auf Geschäftsbeziehungen haben.

Auch wenn der Prozesszustand in automatisierten Prozessen mit Hilfe von Sensorik und Messanlagen immer besser erfasst wird und die Messwerte den Prozesszustand gut abbilden, so können aufgrund des dynamischen Zeitverhaltens und der Schnelligkeit der Prozesse Ursache und Wirkung trotzdem nicht einfach bestimmt werden. Abläufe in Steuerungen oder gar in Steuerungsverbunden sind nicht transparent – bildlich gesprochen: es gibt keinen Tastsinn für Software. Daher müssen Verfahren eingesetzt werden, die das dynamische Prozessverhalten nach außen hin transparent und analysierbar machen. Dies ist die Grundlage für die Systemoptimierung – für die Prozess- und Produktoptimierung unter Kosten-, Qualitäts-, Sicherheits- und Umweltgesichtspunkten.

Nicht beherrschte Komplexität bei Automatisierungslösungen birgt die Gefahr potenzieller Instabilitäten in allen Phasen des Lebenszyklus' einer Anlage. So haben bei der Inbetriebsetzung Instabilitäten im Prozess und nicht beherrschte Komplexität in der Regel eine erhebliche Verzögerung zur Folge, was im Extremfall auch zu einer nicht vollständig funktionierenden Anlage führen kann. Im Produktionsalltag führen Instabilitäten zu Störungen, deren Ursachen nicht sofort lokalisierbar sind und die damit unmittelbare Auswirkungen auf die Produktqualität, die Anlagensicherheit und die Anlagenverfügbarkeit haben.

Beispiele für Störungstypen sind sogenannte sporadische Fehler, deterministische Fehler im Zeitverhalten, die langsame Verschlechterung der Qualität der Produkte bzw. der Anlagen sowie Störmeldungen ohne erkennbare Ursache. Fast alle sporadischen Fehler (Brüche, Verstopfungen, plötzliche Schwankungen, Kurzschlüsse, Kommunikationsstörungen, etc.) sind in Wahrheit systematische Fehler, die aber aufgrund unvollständiger Systemdurchdringung

nicht ausreichend durchschaut werden konnten. Nehmen deterministische Fehler zu oder Qualität und Maßhaltigkeit ab (Ermüdungserscheinungen, Abrieb, Verschmutzung, Korrosion, Alterung, etc.), so sind die Gründe hierfür ebenfalls systematischer Natur. Es handelt sich folglich um sporadische Störungen, die aufgrund der Systemkomplexität hinsichtlich ihrer Kausalität als nicht durchdringbar und damit nicht vorhersehbar oder vermeidbar erscheinen.

### Prozessoptimierung

Die Optimierung eines technischen Prozesses und seiner Produkte kann mit ganz unterschiedlichen Zielsetzungen erfolgen. Dabei treten zunehmend neben Kosten, Qualität und Sicherheitsaspekten auch Umweltgesichtspunkte in den Vordergrund. Der enorme Wettbewerbs-, Zeit- und Kostendruck zwingt Unternehmen, ihre Prozesse hinsichtlich all dieser Kriterien zu perfektionieren. So ist es beispielsweise nicht möglich, die Qualität eines Produkts isoliert zu verbessern, ohne die durch die Prozessverbesserung verursachten Kosten zu berücksichtigen. Auch ist es selbstverständlich, dass die Sicherheit eines Prozesses für den Betreiber immer im Vordergrund zu stehen hat. Eine Prozessoptimierung verspricht also nur dann erfolgreich zu sein, wenn alle Kriterien bei der Optimierung berücksichtigt werden. Grundsätzlich werden bei der Prozessoptimierung zunächst Kennwerte für wichtige Prozessparameter definiert. Diese Kennwerte werden aus den Rohdaten des Messsystems berechnet. Dies kann in Echtzeit, also während des laufenden Prozesses geschehen oder aber offline auf Basis vorhandener historischer Daten durchgeführt werden, beispielsweise um verschiedene Szenarien der Kennwertbildung und deren Auswirkung auf die Bewertbarkeit eines Prozesses zu untersuchen.

Wichtig ist, dass alle Kennwerte nachvollziehbar aus derselben Datenbasis gewonnen werden, um eine Konsistenz aller Kennwerte zu gewährleisten.

### Qualitätsdokumentation

Die Qualitätsmanagementnorm DIN EN ISO 9001 legt die Mindestanforderungen an ein Qualitätsmanagementsystem fest, denen ein Industrieunternehmen zu genügen hat, um Produkte und Dienstleistungen bereitstellen zu können, die Kundenerwartungen sowie gesetzliche Anforderungen erfüllen.

Dabei spielt die vertikale und horizontale Datenintegration eine wichtige Rolle, um die Rückverfolgbarkeit der Datenerfassung, Datenaggregation und Berechnung von Qualitätsdaten und KPIs zum einen und die Rückverfolgbarkeit der Produktion zum anderen zu ermöglichen. Nur so ist die von der DIN EN ISO 9001 geforderte Nachvollziehbarkeit gewährleistet. Dieses Verfahren führt zu konsistenten Daten und hilfreichen Informationen für alle möglichen Ziele der Prozessoptimierung.

Um eine anforderungsgerechte Dokumentation der Qualität zu erstellen, werden in der Regel fest definierte Reports aus den Rohdaten erzeugt. Hierzu muss ein geeignetes Messsystem über Funktionen zur automatischen Reportgenerierung verfügen.

### Prozess- und Maschinendiagnose (Condition Monitoring)

Die Prozess- und Maschinendiagnose hat zum Ziel, verschleißbedingte Änderungen in einer Anlage zu erkennen und nach Möglichkeit eine Vorhersage für die wahrscheinliche Restbetriebsdauer der überwachten Anlagenteile zu ermöglichen. Für das Condition Monitoring werden daher in der Regel keine lückenlosen Aufzeichnungen benötigt. Vielmehr konzentriert man sich darauf, gewisse Verschleißindikatoren in regelmäßigen Stichproben, so genannten Snapshots, zu ermitteln und deren Langzeitentwicklung zu beobachten. Als Beispiel für derartige Verschleißindikatoren seien hier Schadfrequenzen genannt, die bauteilspezifisch aus gemessenen Schwingungssignalen berechnet werden und Hinweise auf mechanische Defekte geben. Um verlässliche Kennwerttrends zu erhalten, ist eine Messung der Snapshots unter möglichst vergleichbaren Randbedingungen erforderlich. Außerdem empfiehlt sich eine Korrelation der berechneten Kennwerte mit anderen Prozessparametern wie Geschwindigkeiten, Kräften oder Eigenschaften des produzierten Materials.

### **3 Ein vierphasiges Vorgehensmodell zur Prozessanalyse als Grundlage für Prozessoptimierung**

Voraussetzung für die Prozess- und Produktoptimierung ist zunächst die Analyse des Prozesses. Idealerweise bietet sich ein vier-phasiges Vorgehensmodell an: Datenerfassung, Datenaufzeichnung, Datenauswertung und Informationsgewinnung. Bei der Datenerfassung geht es zunächst um die Erfassung des dynamischen Prozessverhaltens durch geeignete Messverfahren und Sensorik an ganz unterschiedlichen Stellen im Prozess. Unter Datenaufzeichnung ist die Aufzeichnung der erfassten Messdaten und Speicherung der Daten zu verstehen. Im nächsten Schritt, der Datenauswertung, werden die Daten aufbereitet, analysiert und durch multimediale und interaktive Analysewerkzeuge ausgewertet. Aus diesen drei Phasen resultiert die letzte, die der Informationsgewinnung. Aus den Messdaten und Analyseergebnissen werden Informationen gewonnen und Wissen abgeleitet, um die Qualitätsdaten und Management-Kennzahlen zu berechnen, sog. Key Performance Indicators (KPIs).

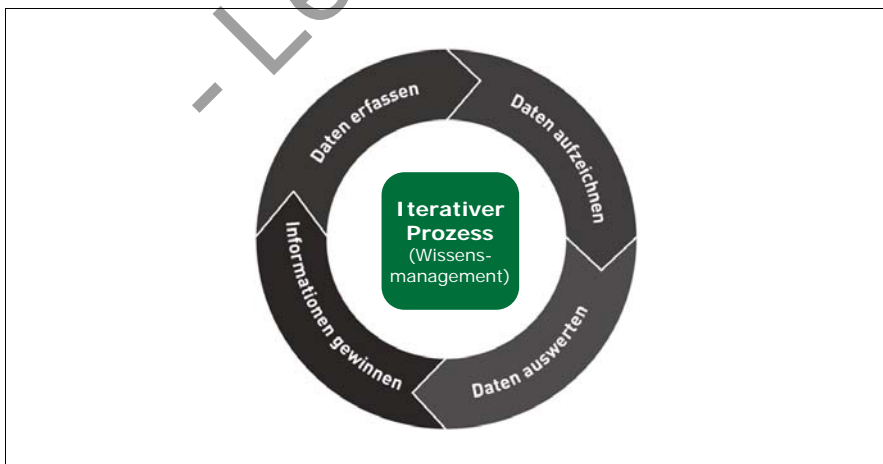


Abb. 1: Die 4 Phasen der Prozessanalyse

Auch wenn diese vier Phasen aufeinander aufbauen, so darf hier nicht der Eindruck entstehen, dass die einzelnen Phasen streng sequentiell nacheinander ablaufen. Vielmehr müssen die Datenerfassung (Phase 1) und Datenaufzeichnung (Phase 2) kontinuierlich erfolgen, da Messdaten für die Berechnung von Qualitätsdaten vollständig und lückenlos erfasst werden müssen. Zudem ist im Voraus nicht vollständig erkennbar und vorhersagbar, welche Messdaten für eine Prozessanalyse benötigt werden. Während also in Phase 3 und Phase 4 Daten ausgewertet und analysiert werden, werden parallel dazu weitere Daten erfasst und aufgezeichnet.

Die Optimierung eines Anlagensystems erfordert eine hundertprozentige Datenverfügbarkeit. Nur wenn Messdaten kontinuierlich und von jedem Zeitpunkt vorliegen, ist im Störfall eine umfassende Analyse möglich, und nur dann können aus den Messdaten kontinuierlich und automatisch Qualitätsdaten und KPIs erzeugt werden.

Art und Detail der in der Datenauswertung und Informationsgewinnung durchgeführten Auswertungen sind sicherlich vom Anlagenzustand abhängig. So wird beispielsweise die interaktive Analyse des Prozesses oft nur im Störfall oder bei Betrachtung bestimmter Optimierungsaufgaben durchgeführt. Werden jedoch die Messdaten auch dazu verwendet, automatisch Qualitätsdaten zu erzeugen, die zum Nachweis der Produktqualität sowohl für interne Langzeitauswertungen als auch gegenüber dem Endkunden verwendet werden, so ist offensichtlich, dass die Datenerfassung und Datenaufzeichnung kontinuierlich zu erfolgen hat und nicht unterbrochen werden darf.

Insgesamt ist das Vorgehensmodell als Ganzes auch ein iterativer Vorgang, da Ergebnisse der Datenauswertung und Informationsgewinnung in der Regel Auswirkungen auf die weitere Datenerfassung haben. Im Allgemeinen ist erst nach einer Auswertung offensichtlich, wie die Abläufe im Prozess tatsächlich sind und welche Signale und Messwerte für weitere Analysen noch fehlen. Erst wenn bekannt ist, wo die Schwachstellen und Fehlermöglichkeiten sind (Erkennen der semantischen Ordnung eines Prozesses), kann auch gezielt nach diesen gesucht werden. So ist eine Erweiterung der Messpunkte und Nachinstrumentierung für die Prozessoptimierung eine normale Vorgehensweise.

#### **4 Zentrale Plattform zur Realisierung des vierphasigen Vorgehensmodells**

Aufgrund der Heterogenität der verwendeten Automatisierungskomponenten hat es sich in der Praxis als vorteilhaft erwiesen, das Prozessverhalten mit einem unabhängigen externen System zu erfassen und somit eine globale Sicht von außen auf den automatisierten technischen Prozess zu ermöglichen. Es wird ein Analysesystem wie etwa das der iba AG benötigt, das eine breite Konnektivität zu den in technischen Prozessen verwendeten unterschiedlichen Automatisierungsplattformen besitzt und verschiedene Erfassungsmethoden ermöglicht.

Nur mit einem herstellernutralen System kann das Verhalten komplexer und schneller Prozesse sowie heterogener Automatisierungssysteme, d. h. Systeme, die aus Komponenten mehrerer Hersteller bestehen, analysiert und optimiert werden.

Das Zusammenspiel der vier Phasen der Prozessanalyse sowie deren flexible Ausführung in einer werkzeuggestützten Umgebung ermöglicht es, die semantische Ordnung eines Prozesses zusammen mit dem dynamischen Zeitverhalten transparent und damit analysierbar zu machen. Basierend auf den aufgenommenen und aufbereiteten Daten können dann Störungen und deren Ursachen erkannt sowie die nötigen Schritte zur Optimierung des Systems unter Kosten-, Qualitäts-, Sicherheits- und Umweltgesichtspunkten unmittelbar abgeleitet werden.

Das System der iba AG unterstützt das vier-phasige Vorgehensmodell. Die Datenerfassungsgeräte sind in der Lage, unterschiedliche Prozesswerte und -signale wie Analog- und Digitalsignale, Feldbus-Signale, Daten direkt aus Steuerungen, Produktkennwerte und Technologiewerte, Kommunikationsdaten und Videobilder gemeinsam zeitsynchronisiert zu erfassen. Diese werden daraufhin aufgezeichnet und langzeitverfügbar so abgespeichert, dass schnell auf diese Daten zugegriffen werden kann.

Für die Auswertung der Daten stehen Applikationen zur Verfügung, mit denen das dynamische Prozessverhalten sowohl interaktiv als auch automatisch ausgewertet werden kann. Basierend auf Standard-Analysen können in weiterführenden Schritten mit den Applikationen des ibaSystems aus den Messdaten sowohl Qualitätsdaten als auch Informationen automatisch gewonnen werden, um damit den automatisierten technischen Prozess und das in diesem Prozess erzeugte Produkt bewerten und optimieren zu können.

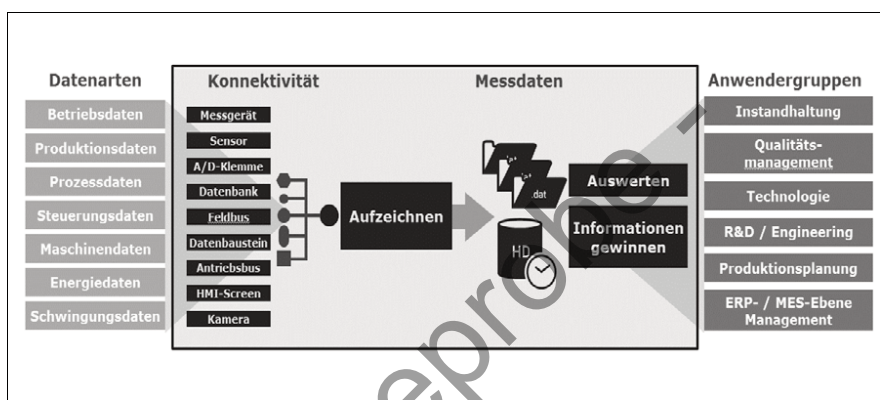


Abb. 2: Realisierung des vierphasigen Vorgehensmodells mit dem ibaSystem

Eine Plattform zur Datenerfassung muss es ermöglichen, verschiedene Sichten auf den Prozess zu erhalten, indem mehrere Messdateien gleichzeitig aufgezeichnet werden. Die Aufzeichnungsmethodik ist von großer Relevanz für die Reduktion der Komplexitätswahrnehmung und vereinfacht die weiteren Auswerteschritte. Dies wird in vielen Anwendungen genutzt, um verschiedene Sichten auf die Messwerte zu erlauben. Beispielsweise können parallel kontinuierlich Daten als „Flugschreiberfunktion“ abgespeichert werden und gleichzeitig mittels getriggerteter Aufzeichnung „Produktdateien“ erzeugt werden, welche die auf eine zeitlich begrenzte Charge bezogenen Prozessdaten enthalten.

## 5 Anforderungen an Datenerfassung und Datenaufzeichnung

### Erfassungsmethoden und Abtastfrequenzen

Moderne Automatisierungstechnik basiert auf digitalen Verarbeitungsgeschichten, Kommunikation zu Feldgeräten über digitale Bussysteme sowie Kommunikationstelegrammen von Leitrechnern. Daher liegen die meisten interessierenden Signale bereits in digitaler Form vor, jedoch befinden sich diese in ganz unterschiedlichen Quellen und müssen unterschiedlich erfasst werden.

Für signifikante Signale, bei denen Verfälschungen durch die Verarbeitung in der Automatisierung ausgeschlossen werden sollen, sind darüber hinaus hochwertige analoge Einkopplungen sinnvoll und notwendig. Dies betrifft vor allem Vibrations- und Schwingungssignale sowie elektrische Größen, bei denen Qualitätskennwerte im Zeit- und Frequenzbereich beobachtet werden sollen. Die Erfassung dieser Daten erfolgt hier nach dem Abtastprinzip. Dabei wird das zu messende analoge Signal zeitdiskret abgetastet und der Wert zum Zeitpunkt der Abtastung quantisiert, das heißt in ein digitales Signal umgewandelt. Die beiden wesentlichen Größen bei der Digitalisierung von Signalen sind die Abtastfrequenz und die digitale Auflösung: Nach dem Nyquist-Theorem muss die Abtastfrequenz mindestens doppelt so hoch sein wie die maximal im analogen Signal vorkommende Frequenz, um das analoge Signal eindeutig zu beschreiben und rekonstruieren zu können. In der Praxis wählt man meistens mindestens die 2,5- bis 2,7-fache Frequenz. Wird das Nyquist-Theorem verletzt, so treten im abgetasteten Signal Artefakte auf. Es handelt sich hierbei um das Phänomen, das als Aliasing bekannt ist. In der industriellen Automatisierung haben sich Abtastfrequenzen von 1 kHz als sinnvoll erwiesen, um auch schnelle Regelvorgänge messen zu können. Für Vibrationsanalysen an Maschinen werden entsprechend den auftretenden Maschinenschwingungen meist 10 kHz bis 20 kHz benötigt. Für Schallmessungen sogar bis 100 kHz. Auch bei Transientenrekordern in der elektrischen Energiemesstechnik werden hohe Abtastfrequenzen bis einige 10 kHz benötigt.

Sollen also die Abläufe in modernen automatisierten Fertigungsprozessen erfasst werden, so müssen verschiedene Methoden zur Verfügung gestellt werden, damit die benötigten Signale an ganz unterschiedlichen Stellen sowohl innerhalb des Automatisierungssystems als auch im Prozess von z.B. Sensoren, Messgeräten, Steuerungen und Bussystemen gemessen werden können.

#### Erfassungsmethoden des ibaSystems

Das ibaSystem bietet verschiedene Erfassungsmethoden und Zugriffsmechanismen. Dazu gehören Hardware-Baugruppen, standardisierte Schnittstellen sowie proprietäre Fremdschnittstellen, mit denen die Konnektivität zum Prozess und zu Automatisierungssystemen realisierbar ist. Möglich sind unter anderem die Einkopplung analoger und digitaler Signale (A/D-Signale) mit analogen und digitalen Eingangsbaugruppen sowie die Erfassung interner Werte direkt aus der Steuerung (Request). Das System ist in der Lage, Daten von einem Feldbus wie z. B. Profibus oder CAN-Bus oder von einem Antriebsbus (Bus Sniffer) anzuhören. Die Daten können über Speicherkopplung (Reflective Memory) oder über die OPC-Schnittstelle erfasst werden bzw. erlaubt das ibaSystem die Erfassung der Daten, die aktiv von einer Steuerung oder einem Leitrechner über nicht-deterministische Busse (z. B. Ethernet, TCP/IP oder UDP) übertragen werden (z. B. Technologiewerte).

#### Konnektivität als Voraussetzung für Prozessanalyse

Moderne Fertigungsprozesse sind sehr oft mit Steuerungen unterschiedlicher Hersteller ausgerüstet. Auch wenn bei der Erstellung einer neuen Anlage bereits bei der Ausschreibung darauf geachtet wird, nur einen Steuerungshersteller zuzulassen, ist dies nur selten möglich und durchzusetzen, da die Hersteller verschiedener Anlagenkomponenten, Sensoren oder Messanlagen im Allgemeinen verschiedene Steuerungssysteme einsetzen. Diese können nicht einfach ausgetauscht werden, da steuerungsspezifische Eigenschaften wie Echtzeitbetriebssystem, Programmierumgebung, I/O-Module, etc. genutzt werden.

Bei schrittweise modernisierten Fertigungsprozessen ist diese Heterogenität nicht vermeidbar und gängige Praxis. Hier kommt noch eine weitere Erschwernis bei der Datenerfassung hinzu, nämlich die gleichzeitige Verwendung unterschiedlicher Gerätegenerationen. Die Datenerfassung muss also herstellerübergreifend möglich sein und darf nicht auf einen Steuerungshersteller begrenzt sein.

Um Daten direkt ohne Programmieraufwand aus Steuerungen flexibel zu erfassen, wurde die sog. Request-Lösung entwickelt. Hierzu werden Agentenbausteine in der Steuerung installiert, welche die Daten zum Messwerterfassungssystem schicken. Hierzu kann das Adressbuch (Variablenliste) der Steuerung in die Messsoftware importiert werden, so dass Variablen ausgewählt werden, die aufgezeichnet werden sollen, ohne dass Eingriffe in die Steuerung notwendig sind. Mit Hilfe der Request-Technik können die zu erfassenden Messwerte geändert werden, ohne dass in die Steuerung eingegriffen werden muss und ohne dass hierzu eine Unterbrechung der Produktion notwendig ist. Die Request-Technik ermöglicht darüber hinaus die Verwendung der symbolischen Bezeichner bei der Datenaufzeichnung, die auch in der Steuerung verwendet werden. Durch Export des Adressbuchs können die zu erfassenden Variablen einfach per drag-and-drop in die Konfiguration des Mess-Systems gezogen werden.

### Daten zentral aufzeichnen

In kontinuierlichen Prozessen ist es erforderlich, auch die Daten kontinuierlich zu erfassen und aufzuzeichnen. Dazu muss bei der Aufzeichnung großer Datenmengen sichergestellt sein, dass keine Daten verloren gehen. Ein hoch performanter Speicheralgorithmus mit einer verlustfreien Komprimierung der Daten ist hierfür von größter Wichtigkeit.

In modernen Messsystemen können bis zu 255 Datenaufzeichnungen konfiguriert werden. Jede Aufzeichnung erzeugt dabei ihre eigene Messdatei und verwendet eigene Aufzeichnungsparameter wie Abtastzeit oder Triggerbedingungen (zeitgesteuert, z.B. jede Stunde, oder ereignisgesteuert, z.B. bei Beginn und Ende eines Produkts oder bei Auftreten einer Störung). Alle Aufzeichnungen können parallel arbeiten und Messdateien anlegen.

Die dateibasierte Aufzeichnung der Messdaten bietet bei einer sinnvollen Strukturierung der Dateiablage, einer angemessenen Dimensionierung der Aufzeichnungsdauer pro Datei und einer verständlichen Dateibenennung, die aus den Kommunikationsdaten des übergeordneten Leitrechners extrahiert werden können (z. B. Chargennummer, Sollwert), eine praktikable Lösung für kurz- und mittelfristige Analysen, wie sie oft in der Instandhaltung benötigt werden. Diese Methode der Datenaufzeichnung eignet sich besonders für eine umfassende interaktive Offline-Analyse. Die Daten können leicht archiviert und kopiert werden und sind für eine produkt- oder ereignisabhängige Nachbearbeitung besonders geeignet.

Allerdings kann es bei der produkt- und chargenorientierten Sichtweise bei dieser Lösung schwierig sein, den Überblick über lange Zeiträume zu behalten, da hierzu die Betrachtung über viele Messdateigrenzen hinweg durchgeführt werden muss. Bei kontinuierlichen Prozessen, wie sie etwa in verfahrenstechnischen Anlagen, Prüfständen für Langzeittests, Energieversorgungsanlagen oder auch Papiermaschinen vorliegen, wünschen sich Instandhalter, Prozessingenieure wie auch Produktionspersonal eine aus Anwendersicht lückenlose und kontinuierliche Aufzeichnung der Daten mit direktem Zugriff, d. h. ohne mehrere Dateien zu öffnen bzw. diese zuerst aneinanderzuhängen.

Hierzu können Messdaten über lange Zeiträume zeitlich hoch aufgelöst aufgezeichnet werden. Die Daten werden bei dieser Aufzeichnungsart nicht in einzelnen Messdateien gespeichert, sondern mit einem speziellen Kompressionsalgorithmus in einem Historical Data Server (HD-Server) gespeichert. In Analyse-Clients können sowohl die historischen als auch die aktuell online erfassten Signalwerte in einer Trenddarstellung angezeigt werden. Mit wenigen Mausklicks gelangt man von der Jahres-, Monats- oder Wochenübersicht hin zu Details im Millisekundenbereich. Die Navigation wird über Zeitmarker, Blätterfunktion sowie über die Eingabe eines bestimmten Zeitpunkts bewerkstelligt. Besonders hilfreich ist eine Funktion, die es erlaubt vorher definierte oder ad-hoc definierte Ereignisse durch Mausklick in einer Ereignistabelle oder mit Hilfe einer interaktiven Abfrage anzuspringen.

### Prozesssignale gleichzeitig, kontinuierlich und synchron mit Videosignalen erfassen

Beim Betrieb einer komplexen Anlage treten immer wieder Situationen auf, die mit Hilfe der digitalen und analogen Anlagen- und Prozesssignale nicht oder nur schwer zu interpretieren sind. Dies ist nicht nur bei der Störungssuche der Fall, sondern auch beim Auftreten von technologischen Problemen oder Qualitätsbeanstandungen des Endkunden. Hierfür hat sich die zeitsynchrone Aufzeichnung der Anlagendaten zusammen mit Videosignalen als effizientes Hilfsmittel erwiesen.



Abb. 3: Synchronisierte Erfassung von Messsignalen und Videobildern

Mit dem Komplettsystem ibaCapture-CAM, bestehend aus Hard- und Software, können Livebilder von Videokameras synchron zu den Messwerten erfasst und aufgezeichnet werden. Die exakte gleichzeitige Erfassung von Messdaten und visueller Information bietet eine völlig neue Qualität der Prozessanalyse, da die sichtbaren Prozessereignisse zusammen mit den dazu passenden Messdaten an einem Bildschirm messsignalgenau betrachtet werden können. Mit einem Marker kann der Zeitpunkt direkt im Signalschrieb ausgewählt werden, ab dem Messsignale und Videosignal betrachtet werden soll. So können Kausalitäten analysiert und eine genaue Ursachenanalyse durchgeführt werden.

Die Videoaufzeichnung selbst kann sowohl kontinuierlich als auch ereignisgesteuert erfolgen. Somit lassen sich bestimmte Vorgänge im Prozess exakt von Anfang bis Ende abschneiden, unabhängig davon, ob es sich um bekannte Abläufe oder unerwartete Ereignisse handelt. Selbst sporadisch auftretende Störungen können so punktgenau mit Trigger-Vorlauf

und Trigger-Nachlauf festgehalten und auch über längere Zeiträume verfügbar gehalten werden.

Die Steuerung und Konfiguration sowohl der kontinuierlichen als auch der getriggerten Aufzeichnung übernimmt ibaPDA, das mit dem ibaCapture-CAM Videoserver in ständiger Verbindung über das Netzwerk steht.

Die Betrachtung und Auswertung von Messdaten und Videosequenzen erfolgt in dem Auswerteprogramm ibaAnalyzer mit Hilfe der Messdatei. Die Videoaufzeichnung jedes Kameramoduls kann in einem Andockfenster neben der üblichen signalorientierten Darstellung der Messsignale angezeigt werden. Die Markerposition in den Messkurven und das Videobild werden zeitrichtig synchronisiert: Aufgaben wie Störungs- und Prozessanalyse, Inbetriebnahme, Schulung und Dokumentation von Betriebsabläufen lassen sich damit unterstützen.

## **6 Von der Ad-hoc-Analyse zur automatisierten Kennwertbildung**

Bei einer Prozessanalyse wird versucht, sich ein möglichst klares Bild der ablaufenden Prozesse zu machen und diesen Ist-Zustand auf Schwachstellen und Einsparpotentiale hin zu überprüfen. Um Praxisdaten zum Abgleich mit den Prozessmodellen zu erlangen, ist ein Prozessdatenerfassungssystem mit umfangreichen Analysemöglichkeiten gefragt. Mithilfe dieser Analysewerkzeuge kann das dynamische Prozessverhalten zunächst interaktiv ausgewertet und verstanden werden. Herrscht Klarheit über die Ursachen eines Fehlerbilds, kann dieses Erkenntnis in problemspezifischen Standard-Analysen niedergelegt werden. Daraus lässt sich systematisch Wissen ableiten, mit dessen Hilfe der automatisierte technische Prozess und, im Falle eines Fertigungsprozesses, auch das hergestellte Produkt bewertet und optimiert werden kann.

Dies sei anhand eines Beispiels näher erläutert:

In einer Anlage zur Herstellung von Packstoff traten sporadisch Unregelmäßigkeiten im Druckbild der hergestellten Kartonverpackungen auf. Der Wert einer einzelnen Verpackung liegt im Bereich weniger Cents; wird allerdings eine solche Verpackung befüllt und gelangt in den Verkauf, empfindet der Verbraucher solche Ware als minderwertig. Demzufolge bleibt sie unverkäuflich im Regal liegen. Der tatsächlich für den Verpackungshersteller im Rahmen von Regressforderungen entstehende Schaden kann also erheblich sein.

Die in Rede Anlage verfügt über eine umfassende Messwertaufzeichnung, mit der auch maschinenübergreifende Zusammenhänge untersucht werden können. Eine signalorientierte interaktive Analyse ergab einen Zusammenhang zwischen den im Druckwerk auftretenden Toleranzabweichungen und den Kartonzügen im Bereich der Druckmaschine. Diese wiesen charakteristische Verläufe mit langsam ansteigenden und anschließend rasch abfallenden Zügen auf.

Als Ursache für die plötzlichen, sporadischen Zugeinbrüche wurde durch Zuhilfenahme weiterer Signale eine durchrutschende Andrückrolle identifiziert. Eine Reparatur der pneumatischen Anstellung dieser Rolle brachte Abhilfe.

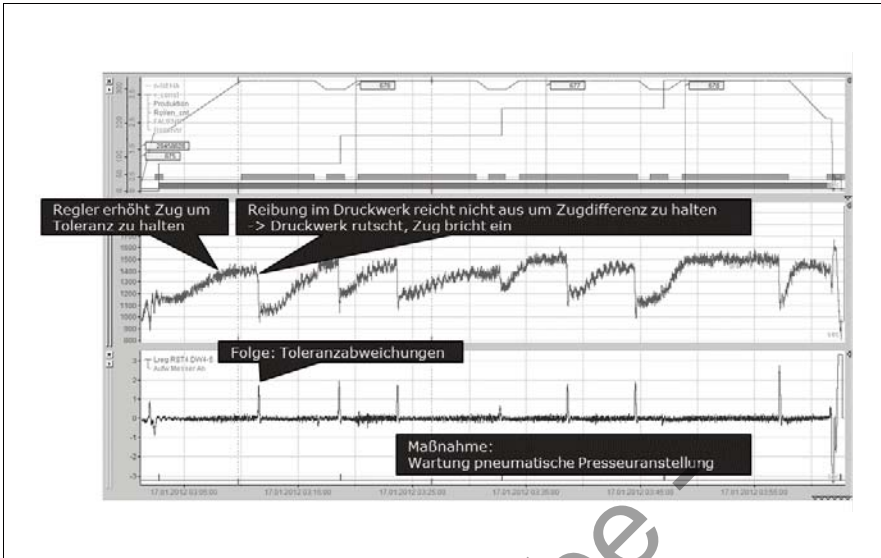


Abb. 4: Interaktive Auswertung mit dem ibaAnalyzer

#### Weitere Verdichtung zu Kennwerten

Zur detaillierteren Analyse können mit Hilfe eines mathematischen Formeleditors und logischer Verknüpfungen neue, virtuelle Signale erstellt werden. Dazu stehen neben den üblichen arithmetischen und logischen Verknüpfungen auch Operationen wie Integral, Differential, trigonometrische Funktionen, Frequenzfilter, Fourier-Transformation und statistische Funktionen wie Minimum, Maximum, Mittelwert, Perzentile, Standardabweichung und Korrelation zur Verfügung. Zur Analyse elektrischer Größen gibt es verschiedene Funktionen, um z. B. die RMS-Werte zu errechnen, Klirrfaktoren zu bestimmen, etc.

In weiteren Schritten kann die Analyse dann auch für die automatische (nicht-interaktive) Auswertung von Messdaten zur Informationsgewinnung eingesetzt werden (post-processing). Einmal durchgeführte Analysen und Auswertungen können in Dateien (sog. Analysevorschriften) gespeichert werden, um sie später in identischer Weise auf andere Messdaten – entweder interaktiv oder automatisch – anwenden zu können. Üblich sind hier die Erstellung von Reports sowie die Extraktion berechneter Kennwerte in Datenbanken zur Verfolgung von Langzeittrends und zur statistischen Analyse.

Die Anzahl derartiger Kennwerte, die einen bestimmten Ausschnitt des Prozesses beschreiben, steigt mit wachsender Erfahrung (Wissensmanagement). Der Verlauf der Kennwerte wiederum kann mithilfe statistischer Auswertung des Langzeitverhaltens zum automatischen Erkennen von Abweichungen benutzt werden. Um beim Erkennen von Anomalitäten im Prozess auch auf die Ursachen rückschließen zu können, ist ein Drill-Down auf die dem Kennwert zugrunde liegenden Rohdaten erforderlich.

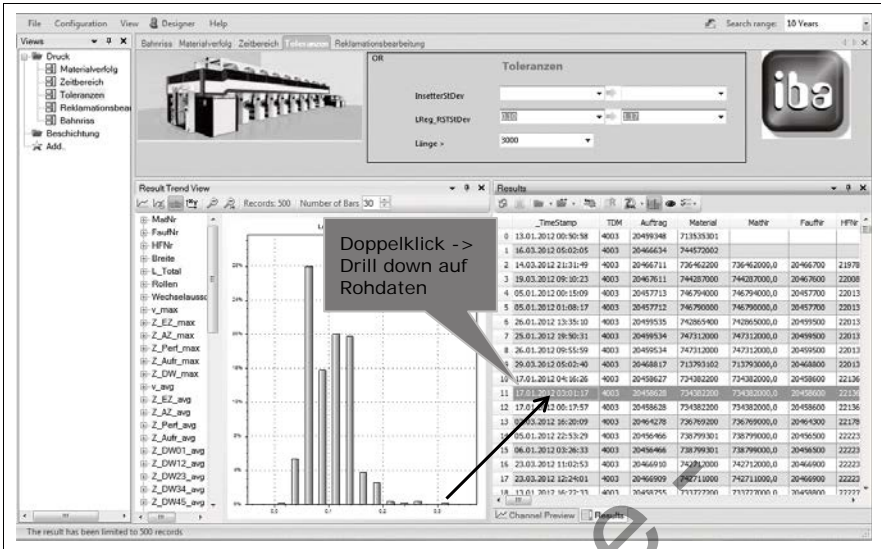


Abb. 5: Langzeitauswertung mit Hilfe der Häufigkeitsverteilung eines Kennwerts mit anschließendem Drill-Down auf die Rohdaten

## 7 Zusammenfassung

Die zunehmende Komplexität moderner automatisierter Anlagen ist eine besondere Herausforderung an den Instandhalter. Um diese Komplexität beherrschbar zu machen, ist der Einsatz moderner Messtechnik und die Erfassung relevanter Signale und Daten an signifikanten Stellen innerhalb einer Anlage zu einem unverzichtbaren Werkzeug geworden. Es wurde ein vierphasiges Vorgehensmodell beschrieben das es ermöglicht, Produktions-, Prozess- und Qualitätsdaten auf einer firmenübergreifenden digitalen Plattform bereitzustellen.

Moderne Instandhaltung versteht sich als ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess, der nicht nur Fehler behebt sondern auch die zugrundeliegenden Ursachen ermittelt und abstellt und schließlich sogar Vorhersagen zum möglichen Verschleißzustand bestimmter besonders kritischer Aggregate erlaubt.

Durch eine iterative und problemorientierte Vorgehensweise wird Wissen erarbeitet, mit Hilfe von Messdaten und Analysen dokumentiert und anderen verfügbar gemacht.

Jede Problemlösung beginnt dabei mit einer interaktiven Analyse von Messdaten durch Experten. Ist der Mechanismus eines Problems erkannt, kann es auch mittels mathematischer Methoden beschrieben werden. Ursachen können gefunden und abgestellt werden.

Es wird empfohlen, solche Problemanalysen mittels einer geeigneten Kennzahlensystematik zu beschreiben. Eine Ermittlung dieser Kennzahlen erfolgt dann automatisch, kontinuierlich während des laufenden Prozesses. Mittels deterministischer und statistischer Auswertung der Kennwerte lassen sich kritische Zustände prognostizieren. Sich anbahnende Fehler, Ausfälle und Qualitätsabweichungen lassen sich so oft frühzeitig erkennen und abstellen.

# Lean Smart Maintenance - Controlling

## Die Schwachstellenanalyse als zentrales Element im Führungssystem der Instandhaltung

**Hubert Biedermann**

*Die Digitalisierung verändert Unternehmen und damit auch die Instandhaltung umfassend, wobei alle Managementfunktionen betroffen sind. Der vorliegende Beitrag beschreibt ein antizipatives Instandhaltungskonzept mit dem koordinationsorientierten Controlling Design. Die Ausrichtung der komplexer werdenden Instandhaltung auf ein einheitliches Ziel-system unter der Prämisse der Wertschöpfung verlangt nach Anpassungen in den Steuerungsprozessen und -strukturen. Dabei ist die Schwachstellenanalyse ein zentrales Element, die u.a. durch Big Data neue Möglichkeiten zur Wahrung der Steuerungsaufgabe schafft.*

### 1 Einleitung

Die fortschreitende digitale Transformation durch den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) inklusive deren Umsetzung in Cyber-physischen Produktionssystemen sowie Big Data-Analytics erfordern deutliche Anpassungen im Geschäftsmodell und dem Führungssystem der Instandhaltung. Anstelle der zumeist statisch ausgerichteten, kostenzentrierten Instandhaltungsstrategie mit reaktiver Störungsbeseitigung und präventiven Aktivitäten tritt ein agiles, proaktives Vorgehen. Diesen antizipierenden Instandhaltungskonzepten wird in Studien ein hohes Wachstumspotenzial bescheinigt. Ein den Möglichkeiten und Umfeldanforderungen entsprechendes Führungs- und Geschäftskonzept stellt „Lean Smart Maintenance“ (LSM) dar, das die Entwicklung zur Dynamisierung und situationsgerechten Anpassung der Instandhaltungsstrategie ebenso ermöglicht wie die Ausgestaltung einer schlanken ressourceneffizienten Instandhaltung. Damit wandelt sich die Instandhaltung zum Asset-Management und kann langfristig Wertschöpfung für das Unternehmen generieren.

### 2 Lean Smart Maintenance

Als ganzheitliches Führungs- und Managementkonzept der Instandhaltung verfolgt LSM das Ziel höchste Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit bei systemkritischen Anlagen sicherzustellen. Unter systemkritisch sind diejenigen zu verstehen, die unter anderem ein hohes Ausfallkostenpotenzial durch Anlagenstillstände, Kapazitätsminderungen, Qualitätsbeeinträchtigungen besitzen sowie Mitarbeiter- und Umweltgefährdungen induzieren. Zusätzlich verfolgt das Managementkonzept im Sinne des wirtschaftlichen Minimumprinzips das Ziel, dass die Planung, Steuerung und Kontrolle aller Instandhaltungsleistungen in den anlagenrelevanten Betriebsbereichen verlustminimierend organisiert und durchgeführt wird (Lean-Ansatz). Im Sinne des Grundverständnisses des Controllings als Bereich des Führungssystems ist eine zielbezogene, erfolgsorientierte Steuerung der Instandhaltung wahrzunehmen, deren Ziel es ist einen langfristigen Wertschöpfungsbeitrag für das betreffende Unternehmen zu gewährleisten. Das angesprochene ganzheitliche Führungs- und Managementkonzept beinhaltet Elemente, die im Zusammenwirken und durch Unterstützung eines adäquaten IKT-

basierten Controlling-Systems den Reifegrad der Instandhaltung in Richtung Adaptabilität und Prognosefähigkeit erhöhen. Siehe hierzu Abb. 1.



Abb. 1: Elemente des LSM-Managementkonzepts<sup>1</sup>

In diesem Beitrag wird auf ein wesentliches Element des Controllings, die Schwachstellenanalyse und deren Unterstützung durch Big Data-Analytics näher eingegangen. Prozessual ist ausgehend von einer Anlagenbewertung und -klassifizierung mit obenstehend erwähntem Fokus in einer dualen Vorgehensweise einerseits auf die Ausfall- und Störungsvermeidung zu fokussieren und andererseits die Instandhaltungseffizienz durch eine lernorientierte Gestaltung der Organisation sowie der Weiterentwicklung des Informations- und Kontrollwesens, sicherzustellen. Begleitet wird dies durch eine laufende Kompetenz- und Qualifikationsentwicklung der Mitarbeiter (Smart Ansatz). Das bislang eher statisch gestaltete Führungssystem wird durch Controlling-Zyklen dynamisiert und ermöglicht das kontinuierliche Lernen. Zur inhaltlichen Ausgestaltung der in Abb. 1 sichtbaren weiteren Elemente siehe weiterführende Literatur<sup>2</sup>.

Da LSM auf eine Führung des Unternehmens bzw. der Instandhaltung durch die Anwendung aller koordinierenden und systembildenden Elemente eines umfassenden Managementansatzes mit Akzentuierung der strategischen bis zur operativen Planung abzielt, ist das Instandhaltungsmanagement als kybernetischer Prozess zu verstehen der mit einem Regelkreis aus Zielsetzung, Planung, Kontrolle und Maßnahmenableitung realisiert wird (Abb. 2). Dem Grundverständnis des Controllings folgend, das gesamte Management von LSM zu koordinieren und gleichzeitig die Rationalität der Führung im Sinne der Verhaltensorientierung zu

<sup>1</sup> Quelle: Biedermann, H. (2016a), S. 20.

<sup>2</sup> Vgl. Biedermann, H. (2016a), S. 20 ff.

sichern, geht es darum die Führungsqualität im Sinne eines ganzheitlichen proaktiv agierenden Instandhaltungsmanagements sicherzustellen.

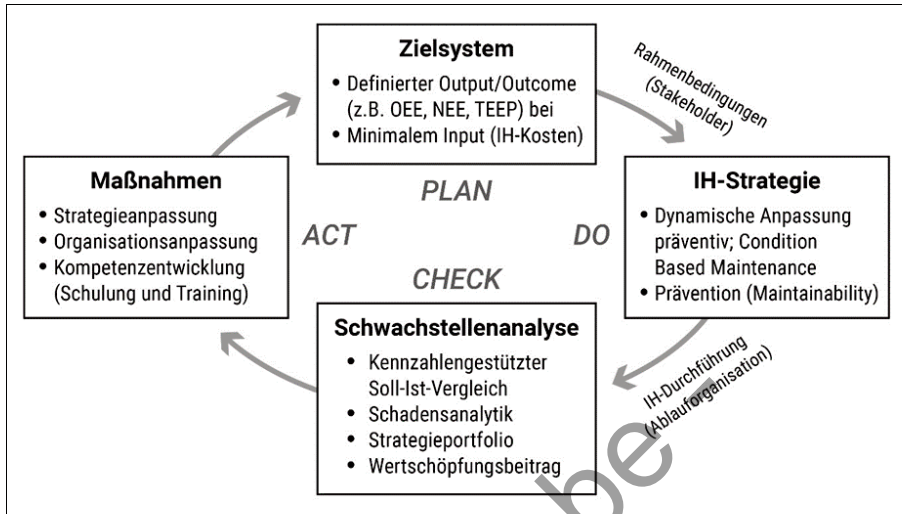


Abb. 2: Koordinationsinstrumente des Planungs-, Kontroll- und Informationssystems von LSM (nach<sup>3</sup>)

Ausgehend von der Formulierung des unternehmensspezifischen Zielsystems an das Asset-Management wird angestrebt einen durch Kennzahlen und Indikatoren definierten Output bzw. Outcome mit minimalen Instandhaltungsaufwand zu erreichen und mittelfristig durch einen messbaren Wertschöpfungsbeitrag zu quantifizieren. Hierzu sind die Key-Stakeholder einzubinden, zu berücksichtigen und aus diesen Erwartungen, Anforderungen und Zielen auf Basis des vorhandenen Instandhaltungswissens und der Erfahrung eine Instandhaltungsstrategie festzulegen, die je nach Kritikalität der betreffenden Instandhaltungsobjekte ausfallorientierte, präventive, prädiktive und perfektive Maßnahmen enthält. Diese werden im Rahmen der Instandhaltungsprogramm- und -durchführungsplanung letztendlich in der Ablauforganisation umgesetzt und zur Realisierung gebracht. In der anschließenden Schwachstellenanalytik erfolgen die Messung der Zielerreichung, die Feststellung der Ursachen von Soll-Ist-Abweichungen und die Schadensanalytik. Daran schließt sich die Erarbeitung von Maßnahmen zur Beseitigung von Schäden und Schwachstellen um den definierten Zielen zu entsprechen. Siehe die Phasen Check und Act in Abb. 2.

Das Controllingsystem zielt auf die Führung der Instandhaltung mittels Planung, Steuerung und Kontrolle ab, wobei in diesem die Daten aus unterschiedlichsten Ebenen und Quellen zusammenfließen und die strategische wie die operative Ebene umfassen (Abb. 3).

Das Controllingsystem, als kybernetischer Prozess verstanden, zeigt den Regelkreis aus Planung und Kontrolle mit den zugehörig skizzierten Daten und Informationsflüssen und der Schwachstellenanalytik als zentrales Element des Soll-Ist-Vergleichs. Das Instandhaltungsmanagement formuliert auf Basis der Unternehmensstrategie unter Berücksichtigung von standortspezifischen Betriebsbedingungen (Stakeholder Anforderungen) die in der Instandhaltungspolitik definierten generellen Ziele und die damit verbundenen Orientierungen

<sup>3</sup> Vgl. Biedermann, H. (2016b), S.131 ff.

(Werte) für das strategische und operative Verhalten der Instandhaltung (Langfristperspektive).

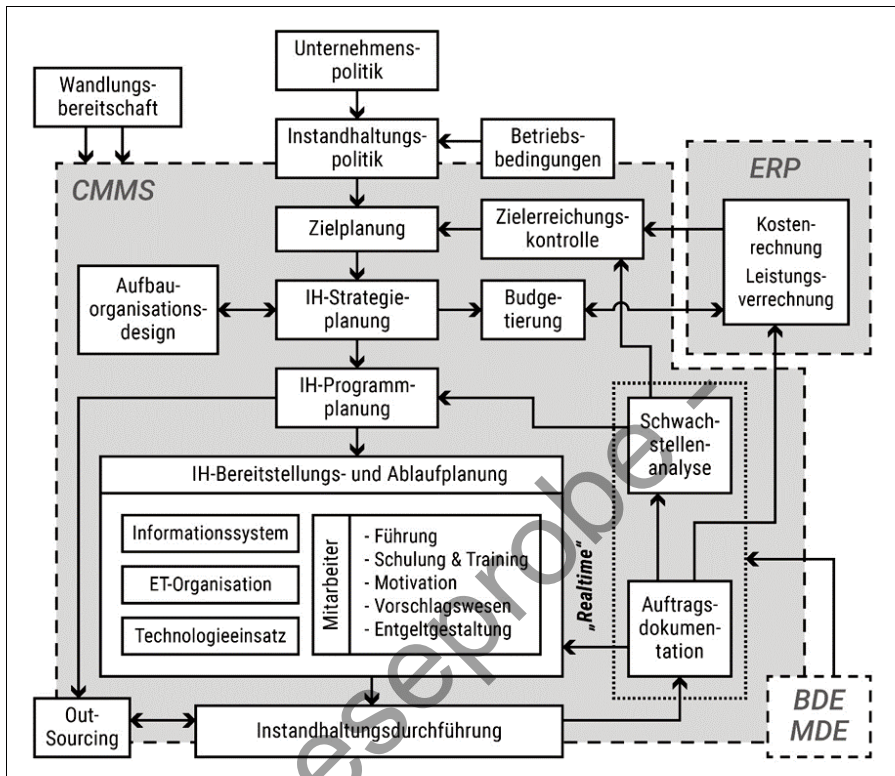


Abb. 3: Controllingssystem – LSM

Das Leitbild der Instandhaltung dient der Kommunikation der Vision, Politik und Kultur. Daraus werden konkrete Sach- und Formalziele der Instandhaltung abgeleitet, die ihrerseits die Strategie, das Organisations- und Planungsdesign determinieren. Sehr wesentlich bestimmen Politik und Strategie auch das Outsourcing bzw. die Fremdleistungsinstandhaltung. Konkreten Ausdruck findet die IH-Strategie in der Programm- und Durchführungsplanung, auf deren Basis die IH-Maßnahmen realisiert bzw. durch eine Störung oder einen Ausfall ausgelöst werden. Der Regelkreis schließt sich durch die Auftragsrückmeldung die ggf. ergänzt durch weitere Datenquellen Basis für die Kostenerfassung und die innerbetriebliche Leistungsverrechnung sowie die Schwachstellenanalyse sind. Basierend auf der Strategieplanung und der Schwachstellenanalyse erfolgt die IH-Budgetierung. Eingebettet sind die Daten- und Informationsflüsse in ein Computerized Maintenance Management System (CMMS). Die Kostenrechnung kann in diesem ebenso realisiert sein wie in einem ERP-System. Umgekehrt kann letzteres Funktionalitäten des CMMS beinhalten. Auf die Schwachstellenanalytik wird in weiterer Folge näher eingegangen.

### 3 Schwachstellenanalyse

Die in weiterer Folge beschriebene Schwachstellenanalyse im Rahmen des Instandhaltungscontrollings ist abzugrenzen von Reifegradmodellen mit deren Hilfe die grundsätzliche Beurteilung und Ausgestaltung des Instrumentenrahmens des Managementsystems der Instandhaltung durchgeführt wird. Dieser Instrumentenrahmen umfasst die Bereiche

- Ziel- und Controllingsystem
- Strategie und Instandhaltungsprävention
- Aufbau- und Ablauforganisation
- Entlohnung, Motivation sowie Schulung/Training
- Ersatzteilmanagement

Die unterschiedliche Ausprägungsform der einzelnen Instrumente wird durch Instandhaltungsassessments identifiziert und die unternehmens- bzw. branchenspezifische Ausgestaltung festgelegt.<sup>4,5</sup>

Das heißt, dieses Assessment legt den Idealzustand des Instandhaltungsmanagements fest, damit Abweichungen eindeutig identifiziert werden können und durch die Ist-Analyse und deren Systematik in Form der Fakten- oder Schwachstellenanalytik der Zielerreichungsgrad festgestellt werden kann. Es erfolgt zunächst der Abgleich des erhobenen Ist-Modells mit den Instandhaltungszielen, wobei darunter Aussagen über zukünftige Instandhaltungs- bzw. Anlagenzustände beinhaltet sind, die durch den konkreten Maßnahmenvollzug der Instandhaltung erreicht werden sollen. Diese Aussagen haben normativen Charakter, da sie für die Entscheidungsträger die anzustrebenden Zustände widerspiegeln. Das obenstehend erwähnte Zielsystem der Instandhaltung ist damit eine Gesamtheit von Zielen zwischen denen Beziehungen bestehen die gleichzeitig zu verfolgen und aufeinander abzustimmen sind. In der Schwachstellenanalytik bzw. -analyse werden die negativen Wirkungen des Ist-Zustandes, die zu einer unbefriedigenden Situation führen analysiert, wobei folgende Abfolge einzuhalten ist:

1. Identifikation und Beurteilung der Abweichung im Vergleich mit dem definierten Sollzustand
2. Abgrenzung der Tätigkeit (Wartung, Inspektion etc.) oder des Objektes (Anlage, Baugruppe, Bauelement, Ersatzteil, Werkzeug, Werkstätte etc.) in der die Ursache vermutet wird (Schwach- bzw. Schadensstelle)
3. Ursachenanalyse mit Fokus auf die Planung und Durchführung, das Verfahren, den Aufgabenträger, die Arbeitsmittel, die Zeit, den Raum und den Zweck sowie das Objekt
4. Ableitung des Änderungsbedarfs entweder im
  - a) Instrumentenrahmen des Instandhaltungsmanagements (Strategie, Organisation, Prozessdurchführung, Mitarbeiter etc.) und/oder der
  - b) Anlagenkomponente

Die Dokumentation der Ergebnisse der Faktenanalyse ist die Grundlage für die laufende Anpassung und Dynamisierung sowohl der Instandhaltungsstrategie und damit des strategischen und operativen Planungssystems als auch des Organisationsdesign sowie der objektbezogenen Schadensstelle (siehe Abb. 3).

<sup>4</sup> Vgl. Biedermann, H. (2001), S.17.

<sup>5</sup> Schröder. W. (2010), S. 219 ff.

Vor diesem Hintergrund ist zu unterscheiden zwischen einer weitergefassten Schwachstellenanalytik die die Elemente des Controlling Systems im Sinne der Planung, Steuerung und Kontrolle der Instandhaltungsleistungen umfasst und einer engeren (klassischen) Schwachstellenanalytik, die als Betrachtungseinheit auf das Instandhaltungsobjekt fokussiert, bei der ein Ausfall häufiger als es der geforderten Verfügbarkeit entspricht eintritt und bei der eine Verbesserung möglich und wirtschaftlich vertretbar ist.<sup>6</sup> Demzufolge umfasst die Schwachstellenbeseitigung Maßnahmen zur Verbesserung der informationstechnischen Unterstützung und technischen Infrastruktur, der Beseitigung von Problemen in der Aufbau- und Ablauforganisation sowie zur Verbesserung einer Betrachtungseinheit in der Weise, dass das Erreichen eines festgelegten Wertschöpfungs- oder Kostenzieles bzw. Verfügbarkeits- oder Zuverlässigkeitszieles mit hoher Wahrscheinlichkeit zu erwarten ist (Act in Abb.2).

### 3.1 Bereiche der Schwachstellenanalyse

Die Schwachstellenanalyse umfasst das prozessuale Vorgehen zu Analyse von Zielabweichungen und Mängel im Planungsorganisations- und Informationsdesign bzw. von Fehlern und Mängel eines Bauteils oder Systems; die Schwachstellenanalytik beinhaltet die Methoden und Instrumente zur Auffindung von Schwach- oder Schadensstellen einer Anlage. Es ist daher zu unterscheiden, in eine Schwachstellenanalytik zur Identifikation:

- einer inadäquaten technischen Infrastruktur bzw. informationstechnischen Unterstützung wie
  - unzureichende Möglichkeiten der Datengewinnung, -speicherung, -verwaltung; fehlende Funktionalitäten und redundante Datenverwaltung, mangelnde IT-Performance, fehleranfällige Systeme und schlechte Bedienbarkeit, Inkompatibilitäten zwischen Betriebs-, Produktions-, Instandhaltungs-, Produktionsplanungs-, Ersatzteilmanagements- Execution Systemen und ERP-Systemen;
  - keiner horizontale datengestützten Integration zwischen verschiedenen Funktionsbereichen im Unternehmen (wie beispielsweise Produktion, Instandhaltung, Ersatzteilbeschaffung etc.);
  - unzureichende Nutzung neuer IKT wie Workflowmanagementsysteme, Dokumentenarchivierung etc.
- ablauforganisatorischer Schwachstellen und damit ineffizienter Instandhaltungsprozesse wie
  - fehlende Prozessverantwortungen, vielfache Prozessschnittstellen, redundante Prozesse;
  - hoher Formalisierungsgrad;
  - geringe Standardisierung;
  - nicht wertschöpfende Arbeitsschritte etc.
- aufbauorganisatorische Schwachstellen wie
  - fehlende oder nicht eindeutige Zuordnung von Entscheidungs- und Verantwortungsbereichen mit geringer Entscheidungsautonomie
  - fehlende Anreizsysteme,
  - inadäquate Personalkapazitätsausstattung etc.
- objektbezogener Schwachstellen
  - mit Identifizierung der Versagensarten und -ursachen,

---

<sup>6</sup> Vgl. DIN 31051 (2012)

- den zugehörigen Einflussgrößen mit Verteilungen und Verteilungsparametern unterstützt durch Fehlerbaum- oder Ereignisablaufanalysen;
- Identifikation der Verknüpfungen der Komponenten zu Teil- und Gesamtsystemen.
- der Infrastruktur und Umgebung des Anlagensystems mit
  - Analyse aller betriebstechnischen, organisatorisch und wirtschaftlichen Faktoren, die mit der Funktionsweise des Instandhaltungsobjektes (Anlage, Baugruppe, Bauelement) verbunden sind und zu dessen Funktionsweise beitragen.

Im Sinne der prädiktiven Instandhaltung zielt die Schwachstellenanalyse auch auf die Fehlererkennung komplexer Funktionseinheiten während des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses beim Hersteller bzw. der Abwicklung von Investitionsvorhaben ab und findet daher auch Anwendung beim Auffinden von Schwachstellen bereits im Betrieb befindlicher Anlagen.<sup>7</sup>

### 3.2 Arten und Methoden der Schwachstellenermittlung

Wie erwähnt muss für eine Schwachstellenidentifikation die Effizienz des Instandhaltungsführungssystems im Sinne der Prozessoptimierung und der Effizienz der damit durchgeführten Instandhaltungsmaßnahmen zur Analyse und Beseitigung der Schwachstellenursachen bestimmt werden. Diese stützt sich auf kontinuierlich erfasste Daten bzw. Informationen des bisherigen Verhaltens der Instandhaltungsobjekte und darüber hinaus auf die Abwicklung und Durchführung der gesetzten Instandhaltungsmaßnahmen sowie deren Effektivität in der Zielerreichung.

Hierzu sind folgende Arten der Schwachstellenermittlung zu unterscheiden:

- Kenngrößenbezogene Identifikation
- Schadensstatistikbezogene Identifikation
- Kausalitätsbezogene, vorbeugende Identifikation

In weiterer Folge wird auf die möglichen Arten und Methoden der Schwachstellenidentifikation in knapper Form eingegangen.

#### 3.2.1 Kenngrößenbezogene Schwachstellenidentifikation

Diese beruht auf Daten und Informationen die aus dem Schadensgeschehen resultieren bzw. im Prozess der Instandhaltungsdurchführung (Maßnahmenabwicklung) gewonnen werden. Das Ziel ist das Erkennen schwachstellenverdächtiger Objekte/Schäden wie auch planungs- und ablauforganisatorischer Mängel mittels Kennzahlen. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Erfassung von Störungen und Ausfällen durch die Dokumentation des Betriebsgeschehens und deren Abläufe. Anhand der Soll-Ist-Vergleiche können geeignete Gegenmaßnahmen und Instandhaltungsstrategieanpassungen abgeleitet bzw. vorgenommen werden. Im Bereich des Instandhaltungsmanagements geht mit der Prozessoptimierung der Instandhaltungsdurchführung meist eine Reduktion der personenbedingten Leer- und Nebenzeiten und damit der Durchführungs- bzw. Prozesskosten der Instandhaltung einher. Daher müssen für die untersuchten Prozesse und Prozessschritte Kennzahlen zum Zeitverbrauch und zum

---

<sup>7</sup> Vgl. Schuh, Eversheim (1999), S. 10 f.

Kostenanfall ermittelt werden, die Rückschlüsse auf die Effizienz der Wartungs-, Inspektions-, Instandsetzungs- und Anlagenverbesserungsprozesse erlauben. Die Auftragszeit ihrerseits setzt sich dabei wieder aus einzelnen nicht wertschöpfenden und wertschöpfenden Zeiten zusammen, die im Detail zu analysieren sind. Sie lässt sich im Vergleich zu den Kosten relativ einfach durch verschiedene Formen von Zeitaufnahmen, Schätzungen, Befragungen und Selbstaufschreibungen messen. Die Erkenntnisse der Prozessanalyse können in Form einer für die Instandhaltung angepassten Prozesskostenrechnung, bei der die Gemeinkosten verursachungsgerecht den Leistungsprozessen derselben oder den Prozessschritten zugerechnet werden, erfolgen. Insbesondere die zunehmende Bedeutung der Planung, Vorbereitung und Kontrolle hat den Kostenaspekt der eigentlichen Instandhaltungsdurchführung um die Gemeinkosten erweitert. Sofern die untersuchten Prozesse nicht in einer Prozesskostenrechnung abbildbar sind, sollte eine kostenmäßige Bewertung der einzelnen Prozessschritte vorgenommen werden. Dem Lean-Aspekt Rechnung tragend sind die Analysen der durchführenden Prozesseffizienz auch im Fremdleistungseinsatz vorzunehmen und zu ergänzen durch die Ermittlung der Ersatzteilbestands-, Verwaltungs- sowie Verbrauchskosten. Die objektbezogene kennzahlengestützte Schwachstellenidentifikation setzt an der Erfassung der Stillstände bezogen auf Anlagen und Perioden, der Störungen differenziert nach Art, Ort und Ursachen ebenso an wie das Erkennen der vorwiegend durch die Lebensdauer von Bauteilen determinierten Standzeit durch die Verwendung von adäquaten Informationssystemen.

Im Prinzip haben Indikatoren und Kennzahlen im Bereich der Schwachstellenidentifikation folgende Aufgaben:<sup>8</sup>

- Auftragsüberwachung: Kennzahlen zur Ermittlung des Fortschritts einzelner Instandhaltungsaufträge
- Wirtschaftlichkeitsnachweis: Effizienzbeurteilung durch Wirtschaftlichkeitskennzahlen (Verhältnis zwischen Output und zur Leistungserstellung benötigter Input).
- Zielerreichungskontrolle
- Schwachstellenanalytik: Kennzahlen sollen hier Wirkungszusammenhänge erkennen, Schwachstellen identifizieren und so Störungen vermeiden.

Neben den leistungsbezogenen Kennzahlen der Instandhaltung wie Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit, OEE etc. finden aufwandsbezogene Kennzahlen zur Beschreibung der Durchführungseffizienz der Instandhaltung Anwendung.

### 3.2.2 Schadensstatistikbezogene Schwachstellenidentifikation

Diese beruht auf Untersuchungen der ausfallhäufigsten Objekte und schadensstatistischen Analysen die die Ausfallhäufigkeit, den Ausfallabstand (MTBF), die Ausfalldauer (MTTR) und die Instandsetzungsdauer im Wesentlichen zum Inhalt haben. Dabei bedient sich die Schadensstatistik der Methoden der Verfahrensbewertung in dem unterschiedliche Verfahren und Versagensmöglichkeiten miteinander verglichen werden. Hierzu werden Kennzahlen oder definierte Abnutzungsschäden als Vergleichsnormativ herangezogen. Darunter sind Schäden bei normalen, geplanten Beanspruchungen und normaler (geplanter) Beanspruch-

---

<sup>8</sup> Vgl. Pawellek (2013), S. 115 ff.

barkeit zu verstehen. Die Datenerfassung hierzu erfolgt systematisch zu festgelegten Zeitpunkten, also periodisch oder nach Instandsetzungsmaßnahmen.<sup>9</sup> Wichtig ist bei kritischen Anlagen eine ausreichend tiefe Gliederung der Anlagen in ihre strukturelle Hierarchie bis zum Bauelement, die Dokumentation von Schadenskriterien und die Festlegung von Vergleichsnormativen. Da die klassische Schadensmeldung häufig sehr unpräzise und individuelle Beschreibungen enthält kommt der Schadensklärung eine hohe Bedeutung zu. Neben dem Schadensobjekt, der örtlichen und zeitlichen Erfassung müssen das Schadensbild und möglichst eine Schadensursachenklassifikation erfolgen. Siehe hierzu die detaillierte Beschreibung und Durchführung einer Schadensanalyse.<sup>10</sup> Die Durchdringung mit IKT erweitert die Möglichkeiten neben den bauteilspezifischen Informationen auch die unterschiedlichsten Belastungs- und Beanspruchungssituationen zu dokumentieren. Neben der Fehlerbaumanalyse werden bauteil- und schadensorientierte Netzbetrachtungen angestellt, die die Bauteile und deren Versagenssituation untersuchen. Werden weitere, das Bauteil betreffende Zustandsgrößen aus Umgebung der Produktion, der Fertigung und der Qualitätssicherung erfasst kann auf direkte oder indirekte Auswirkungen auf das Schadensverhalten geschlossen werden. Schadensorientierte Methoden berücksichtigen zusätzlich zu den Betriebsbedingungen auch Einflussgrößen der Herstellung wie Konstruktions-, Montage- und Herstellfehler.

### 3.2.3 Kausalitätsbezogene Schwachstellenermittlung

Die vorbeugende Schwachstellenidentifikation wird frühzeitig zur Ermittlung von potenziellen Schwachstellen verwendet, um Fehler an Bauteilen oder komplexen Funktionselementen bereits vor dem Auftreten einer Störung zu erkennen und durch geeignete, zumeist konstruktiv-technische Maßnahmen hintanzuhalten.<sup>11,12</sup> Insbesondere bei Anlagen im Konstruktionsstadium sowie bei vorhandenen Anlagen mit hoher Kritikalität werden Ereignisablauf-, Fehlerbaum- und Ausfalleffektanalysen angewandt. Die Ereignisablaufanalyse konzentriert sich auf die Suche nach unerwünschten Ereignissen, die sich aus einem vorgegebenen Anfangsereignis entwickeln können (Ereignisablaufdiagramm oder Ereignisbaum); die Fehlerbaumanalyse ermittelt die logischen Verknüpfungen von Komponenten- oder Teilsystemausfällen sowie die in Betracht kommenden unmittelbaren Ursachen, die zu einem unerwünschten Ereignis führen und die Ausfalleffektanalyse (FMEA: Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse) dient der quantitativen Bewertung von Anlagensystemen bezüglich eines Komponentenausfalls und des Auffindens von Schwachstellen und Risiken.

Die Methoden ergänzen einander in der Form, dass sich die Ereignisablaufanalyse auf die Suche nach unerwünschten Ereignissen konzentriert, die sich aus einem definierten Anfangsereignis ergeben können; die Fehlerbaumanalyse ermittelt die möglichen Ursachen, die zu einem unerwünschten Ereignis führen und mittels der Ausfalleffektanalyse werden die Auswirkungen (Effekte) auf das betrachtete System untersucht.

Die Komplexionsanalyse<sup>13</sup> als theoretische Schwachstellenermittlung bedient sich dreier methodischer Schritte und zwar der Funktions-, der Ausfalleffekt- und der anschließenden Schwachstellenanalyse.

<sup>9</sup> Vgl. Strunz (2011), S. 158.

<sup>10</sup> Vgl. VDI-Richtlinie 3822 (2011)

<sup>11</sup> Vgl. Schuh, Eversheim (1999), S. 10 f.

<sup>12</sup> Vgl. Mexis, N. D. (1990), S. 213 f.

<sup>13</sup> Vgl. Mexis, N. D. (1992), S. 161 ff.

#### 4 Umfassende Schwachstellenanalytik im LSM-Konzept

In der dualen Vorgehensweise zur Wertschöpfungssteigerung und proaktiven dynamischen Anpassung der Instandhaltungsstrategie ist ein datenanalytisch ausgestaltetes Informationssystem zu implementieren, das aus den Auftragsrückmeldungen Indikationen zur Auftrags-erfüllung (Reparaturdauer, Gewerk, Zeitpunkt, Materialverbrauch und Schadensklassifikation) und Schwachstellenanalysen zur Prozesseffizienz ermöglicht (siehe Abb. 4).

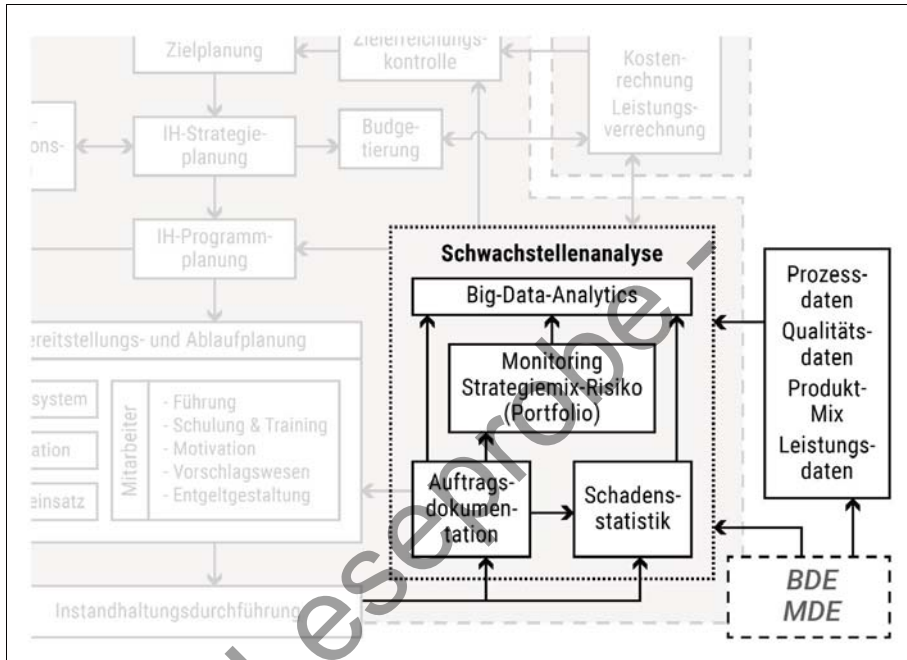


Abb. 4: Controllingsystem mit Fokus Schwachstellenanalyse

Der gewählte Auftragsmix an vorbeugenden und korrektiven Instandhaltungsmaßnahmen wird im Zug der Schwachstellenanalytik und der Zielerreichung verglichen mit der Kritikalität der Anlage (Portfolioanalyse)<sup>14</sup> und ermöglicht damit einerseits die Wirksamkeit der gesetzten Instandhaltungsmaßnahmen in Richtung Outcome und Output zu beurteilen und zum anderen Over- oder Under-Maintenance Indikationen zu finden. Des Weiteren erlaubt der Soll-Ist-Vergleich in der Auftragsdurchführung die Beurteilung der Effizienz der gesetzten Instandhaltungsmaßnahmen. Die vertikale Integration der hierarchisch ausgestalteten IT-Systeme ermöglicht, in Verbindung mit der horizontalen Integration verschiedener Prozessschritte, eine wesentliche Erweiterung der Schwachstellenidentifikation durch Big Data-Analytik, was zur deutlichen Verbesserung der Qualität der Schwachstellenidentifikation und -beseitigung führt. Die aus Sensoren und Aktoren unmittelbar am Instandhaltungsobjekt bzw. in der Anlagensteuerung gewonnenen Daten in Verbindung mit denjenigen aus weiteren funktionalen Unternehmensbereichen ermöglichen eine breit ausgestaltete Analyse. Ei-

<sup>14</sup> Vgl. Kinz, A.; Bernerstätter, R. (2016), S. 90 ff.

nerseits werden hierzu wie erwähnt die Instandhaltungsmaßnahmen hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der betrachteten Anlagenobjekte untersucht und zusätzlich auf eine Anlageneffizienzkennzahl wie beispielsweise der OEE bezogen. Damit ist es mittelfristig möglich die Erfolgswirksamkeit des Maßnahmenbündels der Instandhaltung durch das Controlling bzw. die Schwachstellenanalyse zu prüfen und eine Dynamisierung bzw. Adaption der Instandhaltungsstrategie vorzunehmen. Infrastrukturbedingungen können durch Lastkollektive und Umgebungsdaten bzw. qualitätsbeschreibende Daten des Produktes direkte oder indirekte Hinweise auf die Erfolgswirksamkeit der Instandhaltungsstrategie geben (siehe Abb. 4 äußerer BDE/MDE Pfad).

Die Schwachstellenanalyse als Teil des kybernetischen Controlling-Prozesses ist zu unterteilen in eine laufende CMMS interne Schwachstellenanalytik und eine erweiterte, die sich zusätzlicher Daten der, die Anlage beeinflussenden, Umwelt bedient. Im Folgenden wird auf diese unterschiedlichen Schwachstellenkonzepte näher eingegangen.

#### 4.1 CMMS-gestützte Schwachstellenanalyse

Die hier angewandte Analytik bedient sich der im Management-Execution-System der Instandhaltung bzw. des Computerized-Maintenance-Management-System vorhandenen Daten aus der Auftragsdurchführung der Instandhaltung und der Ergänzung der entweder im CMMS- oder ERP-System implementierten Kostenrechnung der Instandhaltung inklusive deren Leistungsverrechnung. Es wird fokussiert auf die Auftragsüberwachung und die Schadensanalytik aus dem Auftragswesen sowie auf das Wirksamkeitsmonitoring der aktuell gewählten Instandhaltungsstrategie und deren Vergleich mit den Leistungskennzahlen der Instandhaltung.

##### **Auftragsüberwachung**

Unmittelbar aus der Auftragsüberwachung wird das Ziel im Sinne der Lean Maintenance verfolgt durch Soll-Ist-Vergleich eine wirtschaftliche Auftragsdurchführung zu gewährleisten, d.h., dass die Verfolgung der Personal-, Material- und Fremdleistungsaufwendungen im Vordergrund stehen. Im Fokus stehen dabei die Auftragsattribute

- Auftragsstatus (erledigt, offen),
- Stunden, Mengen, Kosten (Soll-Ist),
- Kapazitätsauslastung,
- Auftragsaktualisierung (Termintreue).

In der Regel bedient man sich der kenngrößenbezogenen Schwachstellenermittlung in der Ausführungs- bzw. Auftragsüberwachungsebene. Der optimale Einsatz von Personal und Material, die wirtschaftliche Betreuung von Anlagen, Maschinen und anderen technischen Objekten sowie die Analyse abgelaufener Vorgänge und Zustände stehen im Vordergrund. Ein Bündel von Einzelkennzahlen ermöglicht es auf nicht wertschöpfende Zeiten, ineffiziente Ersatzteilbewirtschaftung oder in adäquates Fremdleistungsmanagement zu schließen. Für einen adäquaten Kennzahlenkatalog siehe weiterführende Literatur.<sup>15</sup>

Die Identifizierung und Beseitigung von Schadensstellen oder schadensverdächtigen Stellen mit technisch und wirtschaftlich vertretbaren Mitteln bedient sich der Schadensanalytik aus dem Auftragswesen und hat die Senkung der Schadenshäufigkeit bzw. des Schadensumfangs zum Ziel.

---

<sup>15</sup> Vgl. Biedermann, H. (1988), S. 314 f.

Im Vordergrund stehen objektbezogene statistische Auswertungen, deren Basis das Auftragswesens der Instandhaltung bzw. Anlagenzeitgerüste (BDE) und schadenserfassende Informationen (Schadensbild/-art und -ursache) bilden. Diese sind im Wesentlichen:

- Wöchentliche Darstellung des Trouble Shootings (Auftragspriorität 1) mit Objekt, Schadensursache, Aktion, Ausführungs- und Ausfalldauer
- Objektbezogene statistische Auswertung der Anlagenstillstände (geplant, ungeplant)
- Objektbezogene statistische Auswertung der Schadenscodes (Bild und Ursache)
- Kombination der beiden genannten statistischen Auswertungen
- Monatliche Anlagenbereichsanalyse mit Ausführungsdauer und Ausfallstunden
- Pareto(ABC)-Reihung der Top-Ten Objekte
- Kombinierte Darstellung aus Instandhaltungsaufwand und Ausfallzeit; ebenfalls objektbezogen wie beispielsweise
  - Wie oft ist ein gleiches Element in Anlage X ausgefallen?
  - Wie oft ist ein gleiches Element in anderen Anlagen (außer X) ausgefallen?
- Die verdichteten Auswertungen über Kennzahlen dienen mit ihrem Objektbezug primär der Schwachstellenidentifizierung und sekundär (längerfristig) zur Adaption und dynamischen Anpassung der Instandhaltungsstrategie. Ein weiterführender Kennzahlenkatalog ist in genannter Literatur zu finden.<sup>16</sup>

Da die Instandhaltungsstrategieänderung mit zeitlich verzögerter Wirksamkeit die Anlagenperformance bzw. die Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit beeinflusst, ist es notwendig zusätzlich eine langfristige, mehrjährige instandhaltungsobjektbezogene Historie zu führen, die die Schadensursache, die Maßnahmen und den Stunden- sowie Materialaufwand im Fokus hat. Eine zusätzliche gewerk- oder schichtspezifische Differenzierung kann in der Schadensanalytik sinnvoll sein.

Der dritte Bereich des Wirksamkeitsmonitoring der verfolgten Instandhaltungsstrategie und deren Zielerreichungskontrolle im Sinne der Verfolgung der effizienten und effektiven Instandhaltung nimmt Bezug auf die Zielplanung der Instandhaltung und fokussiert auf das Aufgabenspektrum (Sachzielumfang) und die kosten- und leistungsseitig verfolgten Ziele (Formalziele).

Da die Strukturierung nach den Auftragsarten der Instandhaltung eine Klassifikation in ausfallbezogene bzw. präventiv/prädiktive Instandhaltungskosten ermöglicht, können die objektspezifisch verdichteten Instandhaltungskosten – wie erwähnt – nach ihrer absoluten Höhe klassifiziert und der vorgenommenen Anlagenbewertung und objektspezifischen Risikoklassifikationen gegenübergestellt werden. Dieses Portfolio gibt Hinweise auf die zu analysierenden Instandhaltungsobjekte in Richtung Ausfall- bzw. Störungsvermeidung sowie Erhöhung der Instandhaltungseffizienz.<sup>17</sup> Die datenanalytische Klassifikation der Ausfallverteilung und der damit verbundenen Ausfallkosten, ergänzt durch die Analyse der Kostenbilder ermöglicht arbeitsablauf- und dispositionsspezifische Untersuchungen und Maßnahmen zur Leistungsrationalisierung im Sinne des Personalmanagements sowie der Ersatzteillogistik. Die Anlagenbewertung und -risikoklassifikation bildet daher die Basis für das duale Vorgehensmodell im Rahmen der Schwachstellenanalyse, das zur Reduzierung der Ausfallzeiten und Häufigkeiten mit gleichzeitig effizienter Ressourcennutzung dient.

<sup>16</sup> Vgl. Biedermann, H. (1988), S. 316 ff.

<sup>17</sup> Vgl. Kinz, A.; Bernerstätter, R. (2016), S. 90 ff.

## 4.2 Erweiterte Schwachstellenanalyse durch Big Data Analytics

Durch die hierarchische vertikale Integration von der Feld- und ggf. auch Produktebene bis hin zur Fabrikebene (und ggf. über mehrere Werke und Firmen hinweg) und den damit verbundenen steigenden und vor allem verfügbaren Datenmenge verstärken sich die Möglichkeiten und der Einsatz von Data Mining und Big Data Analytics im Produktions- und Instandhaltungsmanagement.<sup>18,19</sup> Der Einsatz einer realzeitlichen Datenanalyse im Instandhaltungsmanagement ermöglicht die Nutzung von Optimierungspotenzialen bzw. die Reduzierung von Verschwendung. Insbesondere die objektspezifisch zu wählende Instandhaltungsstrategie bzw. der Strategiemix im Sinne der korrektiven, präventiven oder prädiktiven Instandhaltung bieten der Big Data Analytics ein weites Feld. Zusätzlich bieten die unterschiedlichen Verfahren zur Zustandsermittlung und -überwachung (Condition Monitoring) ein weites Feld zur präventiven Überprüfung des Abnutzungsvorrates und zur Interpretation von Umgebungseinflüssen. Insbesondere vorbeugende Maßnahmen, die in laufzeit- bzw. belastungsspezifischen Intervallen ausgeführt werden, können auf Basis von Analysen über Maschinenausfälle erfolgen und sind mit dem Einsatz deskriptiver und explorativer Methoden verbunden. Maschinendaten im laufenden Produktionsprozess werden in der prädiktiven Instandhaltung genutzt um Prognosen bezüglich des Ausfallverhaltens der Betriebsmittel zu erstellen. Künftige Ausfälle und Störungen auf Basis der erfassten Daten können gegebenenfalls durch überwacht lernende Data Mining Verfahren wie der Klassifikation oder Regression eingesetzt werden.

Die Nutzung von Daten der Umgebungsbedingungen des Instandhaltungsobjektes (wie Druck, Temperatur etc.), belastungsbeschreibende Daten, der Auftragsmix, die Energieaufnahme und/oder die Verfolgung der am jeweiligen Instandhaltungs- und Produktionsobjekt generierten Produktqualität bietet durch den Einsatz von Big Data Analytics ein großes Optimierungspotenzial. Zu ergänzen ist allerdings, dass diese vor speziellen Herausforderungen einerseits technisch und datenbezogen steht und es andererseits der Integration anwendungsfeldspezifischen Fachwissens (Domänenwissen) bedarf um Big Data Analytics Projekte mit Experten-Knowhow fachlich zu begleiten. Eine transparente Darstellung der Entstehungsprozesse und verständliche Visualisierung der Ergebnisse ist Grundvoraussetzung für die Akzeptanz der erweiterten Schwachstellenanalyse durch Big Data Analytics.

## 5 Literatur

- Bernerstätter, R.; Kleindienst, B. (2016): IH-Controlling im Zeitalter von Industrie 4.0 - Entwicklung eines Kennzahlensystems und Maßnahmenableitung unterstützt durch Datamining. In: Der Instandhaltungsberater. 68. Aktualisierung, TÜV Media, Köln
- Biedermann, H. (1988): Instandhaltungs-Controlling mittels Kennzahlen – Kennzahlen als Führungsinstrument für Analyse, Planung, Steuerung und Kontrolle. In: Männel, W. (Hrsg.) Integrierte Anlagenwirtschaft. TÜV Rheinland, Köln
- Biedermann, H. (2001): Knowledge Based Maintenance. In: Biedermann H. (Hrsg.) Knowledge Based Maintenance: Strategien, Konzepte und Lösungen für eine wissensbasierte Instandhaltung. TÜV Verlag, Köln
- Biedermann, H. (2014): Anlagenmanagement im Zeitalter von Industrie 4.0. In: Biedermann H. (Hrsg.) Instandhaltung im Wandel. TÜV Media, Köln

<sup>18</sup> Vgl. Bernerstätter, R., Kleindienst, B. (2016), S. 16 ff.

<sup>19</sup> Vgl. Deuse, J. et al. (2014), S. 33 ff.

- Biedermann, H. (2016a): Lean Smart Maintenance. In: Biedermann, H.(Hrsg.) Lean Smart Maintenance – Konzepte, Instrumente und Anwendungen für eine effiziente und intelligente Instandhaltung, TÜV Media, Köln
- Biedermann, H. (2016b): Lean Smart Maintenance. In: Biedermann, H.(Hrsg.) Industrial Engineering und -Management, Springer Gabler, Wiesbaden
- Deuse, J. et al. (2014): Big Data Analytics in Produktion und Instandhaltung. In: Biedermann H. (Hrsg.) Instandhaltung im Wandel. TÜV Media, Köln
- DIN 31051 (2012): Grundlagen der Instandhaltung; Deutscher Normungsausschuss, Beuth Verlag, Berlin
- Kinz, A.; Bernerstätter R. (2016): Instandhaltungsoptimierung mittels Lean Smart Maintenance. In: Biedermann, H.(Hrsg.) Lean Smart Maintenance – Konzepte, Instrumente und Anwendungen für eine effiziente und intelligente Instandhaltung, TÜV Media, Köln
- Mexis, N.D. (1990): Handbuch Schwachstellen-Analyse – Erfolgreiches Instrument zur Kostensenkung und Unternehmenssicherung. TÜV Verlag, Köln
- Mexis, N. D. (1992): Allgemeine Schwachstellenanalyse und deren Durchführung in den Betrieben. In: Warnecke H.-J. (Hrsg.) Handbuch Instandhaltung. TÜV Verlag, Köln
- Pawellek, G. (2013): Integrierte Instandhaltung und Ersatzteillogistik. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg
- Schröder, W. (2010): Ganzheitliches Instandhaltungsmanagement – Aufbau, Ausgestaltung und Bewertung. Hrsg. Bauer, U.; Biedermann, H.; Wohinz, W. Gabler, Wiesbaden
- Schuh, G.; Eversheim, W.(1999): Produktion und Management 3 – Gestaltung von Produktionssystemen, Springer
- Strunz, M. (2011): Instandhaltung. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg
- VDI-Richtlinie 3822 (2011): Schadensanalyse – Grundlagen und Durchführung einer Schadensanalyse. Verein Deutscher Ingenieure. Beuth Verlag, Berlin