

Praxiswissen Instandhaltung



Bausteine und Wege des Wandels

TÜV Media

Erfolg durch Lean Smart Maintenance

H. Biedermann (Hrsg.)



Erfolg durch 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

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 2017

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

Gesamtherstellung: TÜV Media GmbH, Köln 2017

Inhaltsverzeichnis

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

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

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
Leadec 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

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).

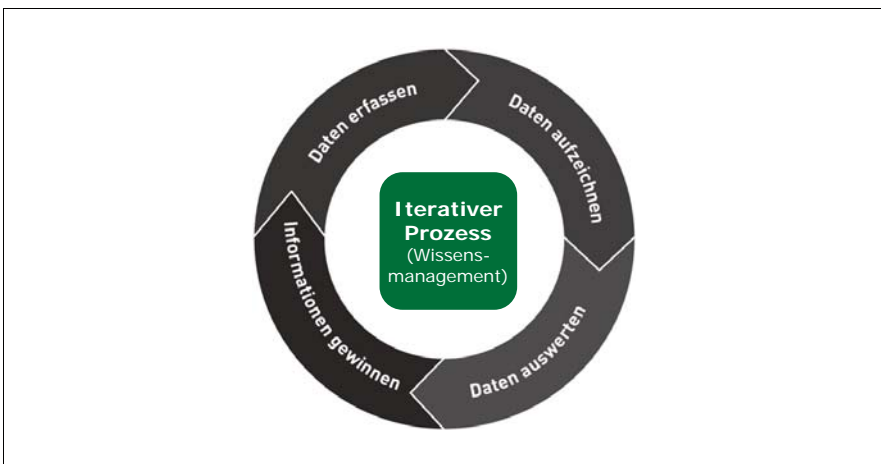


Abb. 1: Die 4 Phasen der Prozessanalyse

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.

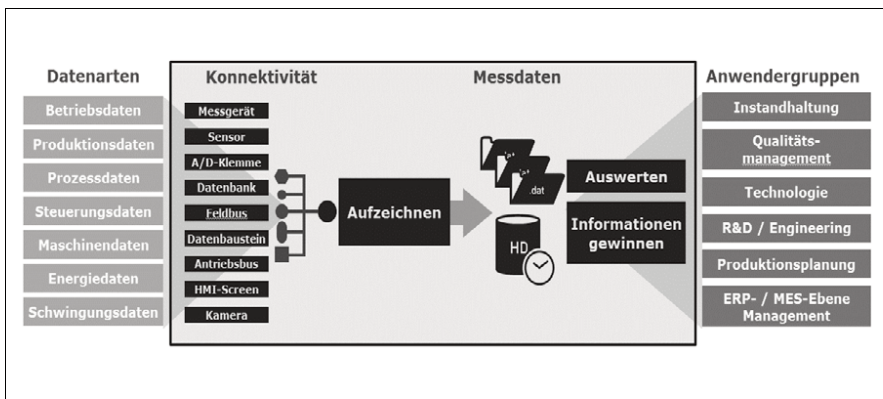


Abb. 2: Realisierung des vierphasigen Vorgehensmodells mit dem ibaSystem

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 getriggertter 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 Verarbeitungsgeschäften, 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.

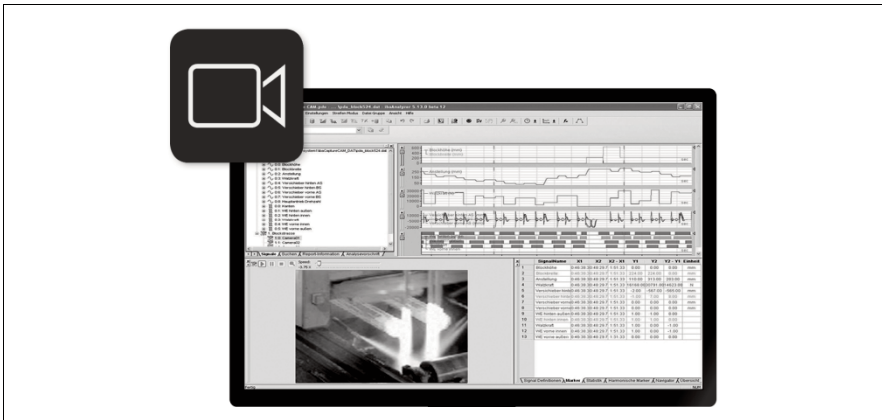


Abb. 3: Synchronisierte Erfassung von Messsignalen und Videobildern

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 Videosever 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.

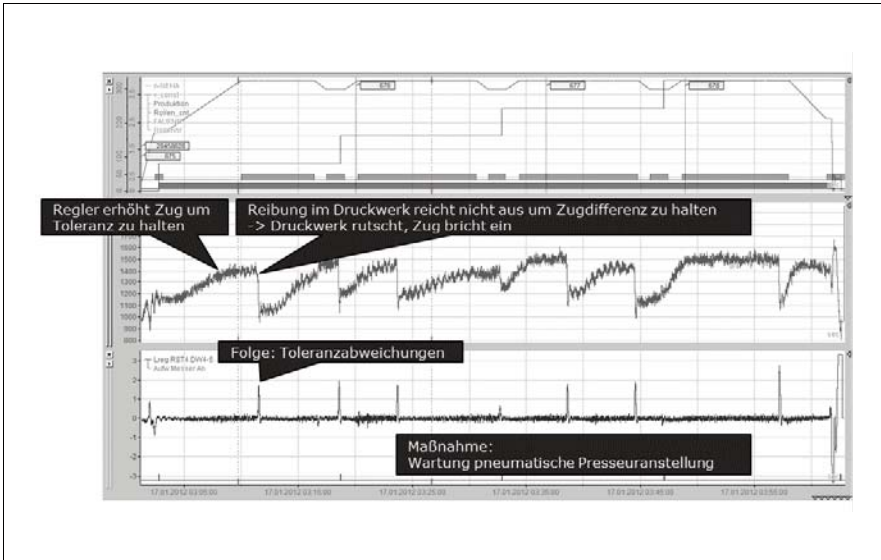


Abb. 4: Interaktive Auswertung mit dem ibaAnalyzer

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.

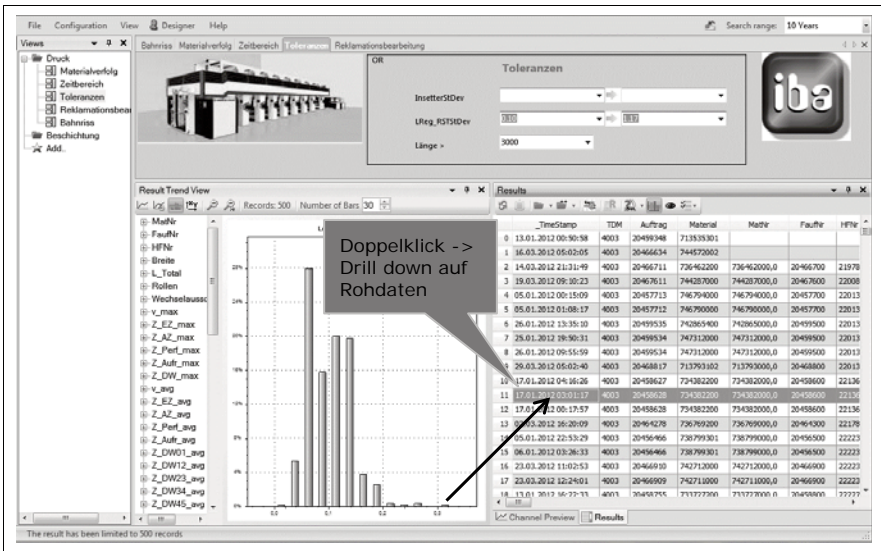


Abb. 5: Langzeitauswertung mit Hilfe der Häufigkeitsverteilung eines Kennwerts mit anschließendem Drill-Down auf die Rohdaten

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 Zielsystem 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-Managementkonzepts¹

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 Literatur².

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

¹ Quelle: Biedermann, H. (2016a), S. 20.

² Vgl. Biedermann, H. (2016a), S. 20 ff.