

Maintenance 4.0

– Integrierte Wartungskonzepte der Zukunft –

Rudolf Mallweger

1.	Industrie 4.0	227
2.	Maintenance 4.0	228
3.	Verfahren.....	229
4.	Zusätzliche Einsatzgebiete	231
5.	Zusammenfassung	232
6.	Literatur.....	234

1. Industrie 4.0

Unter dem Schlagwort *Industrie 4.0* werden momentan Entwicklungen hin zu einem Produktionsumfeld diskutiert, das aus intelligenten, sich selbst steuernden Objekten besteht. Beispiele für CPS sind Anlagen, Behälter, Produkte und Materialien. In einer Vision der flächendeckenden Durchdringung dieses Ansatzes steuern sich Aufträge selbstständig durch ganze Wertschöpfungsketten, buchen ihre Bearbeitungsmaschinen und ihr Material und organisieren ihre Auslieferung zum Kunden. [5]

Die Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit, aufgebaut auf erhöhter Effizienz und Qualität, sind Teil der eigenen kontinuierlichen Verbesserungsprozesse in der Industrie von heute. Die Herausforderung, mehr, besser und zu geringeren Kosten zu produzieren wird durch die Globalisierung des Marktes verstärkt. Der Großteil der Anlagen hat bereits einen hohen Modernisierungsgrad erreicht, womit die Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit nur über ganzheitliche Analysen aller Faktoren bezüglich Betrieb, Instandhaltung und Logistik erfolgen kann. Intelligente Monitoring- und Entscheidungsprozesse sollen Betrieb, Planung der Instandhaltung und Optimierung der Anlagen erlauben.

Möglich gemacht wird die Vernetzung dieser dezentralen intelligenten Systeme durch die flächendeckende und bezahlbare Verfügbarkeit der technischen Infrastruktur in Form von industriell einsetzbaren (Funk-) Internetverbindungen. Logisch werden die Systeme durch die konsequente Anwendung von dezentralen Steuerungsprinzipien wie Multiagentensystemen gekoppelt, die sich am schon lange propagierten *Internet der Dinge* orientieren. Dies ermöglicht die Integration von realer und virtueller Welt. Produkte, Geräte und Objekte mit eingebetteter Software wachsen zu verteilten, funktionsintegrierten und rückgekoppelten Systemen zusammen. [5]

Monitoring, Integrations- und Informationsmanagement erlauben heute die Erkennung, Einführung und Überwachung effizienzsteigernder Maßnahmen. Um dies zu erreichen ist es notwendig wichtige Betriebsparameter lückenlos aufzuzeichnen, in Prozess relevante Aussagen zu übersetzen, und diese Daten in leicht verständlicher Form auf einer elektronischen Plattform in nahezu Echtzeit zur Verfügung zu stellen. Industrie 4.0 heißt mehr als CPS-Vernetzung. Die Zukunft umfasst intelligente Datenaufnahme, -speicherung und -verteilung durch Objekte und Menschen. [5] Wichtige, noch nicht vorhandene Daten sind über neu zu setzende Messpunkte zu generieren. Es sollte dabei auf einfach zu montierende und wartungsfreundliche Sensorik zurückgegriffen werden. Am Markt befindliche integrierte Informationssysteme, wie Pro-Industry 4.0, liefern kundengerechte Lösungen für jeden Anwendungsbereich.

Auf dem Weg zu Industrie 4.0 werden sich bisher lineare Wertschöpfungsketten zu dynamischen Wertschöpfungsnetzwerken mit automatisiertem Austausch von sensiblen Produktions- und Prozessdaten über Unternehmensgrenzen hinweg wandeln, um eine effiziente Produktion zu ermöglichen. Für die Weiterentwicklung zur digitalisierten Industrie steht daher der umfassende Schutz der hochgradig vernetzten Systemstrukturen an vorderster Stelle. Mit der zunehmenden Vernetzung und Zusammenarbeit verschiedener Partner ist ein starkes Vertrauen in den jeweils anderen erforderlich, da der am wenigsten sichere Partner die Sicherheit des gesamten Netzwerkes bestimmt. Verlässliche Konzepte, Architekturen und Standards im Bereich der IT-Sicherheit müssen diese Vertrauensbasis schaffen. Die Herausforderung dabei ist, bestehende Strukturen für die neuen Anforderungen auszurüsten und gleichzeitig Lösungen für neue Einrichtungen zu entwickeln – also Security by Design in der Unternehmenskultur zu verankern. [4]

2. Maintenance 4.0

Virtualisierung und Vernetzung sind Trends des vierten industriellen Zeitalters, die sich auch auf die Strategien und Prozesse der Instandhaltung auswirken werden. [3] Die große Herausforderung der industriellen Instandhaltung ist die Sicherstellung des ungestörten Produktionsvorgangs bei geringstmöglicher Ressourcennutzung wie Energie, Ersatzteile, Werkzeuge, Mannstunden, Wasser, Luft, Rohstoffe usw.

Die erfolgreiche Umsetzung von Anforderungen an die Instandhaltung 4.0 erfordert einen Rollenwandel in vielen Bereichen eines Unternehmens. So muss das Management sich etwa mit der Frage auseinandersetzen, ob und in welchem Ausmaß einem Datenaustausch über die Grenzen des Unternehmens zugestimmt wird. Die IT-Abteilungen wiederum müssen bereit sein, neue mobile Systeme und Softwarelösungen einzuführen, werksübergreifende Datenabfragen zuzulassen, neue Berechtigungsmodelle zu entwickeln und umzusetzen. Weiterhin ist es erforderlich, neue Organisationsmodelle zu entwickeln, um damit auf Daten basierende Entscheidungen schneller treffen zu können und inhärente Hindernisse der Aufbauorganisation, etwa bestehende Hierarchien, zu überwinden. Einen Wandel wird es bei den benötigten Funktionen in der

Instandhaltung geben: Der Schwerpunkt der Tätigkeiten verlagert sich zunehmend auf die Bereiche Planung, Analyse, Visualisierung und Virtualisierung. Das wiederum erfordert ein Umdenken in den Ausbildungskonzepten. [3]

Ungeplante Stillstände zu vermeiden oder zumindest zu reduzieren ist Ziel für jeden Instandhaltungsverantwortlichen eines Betriebes. Der Weg von einem klassischen reaktiven Wartungsbetriebes zu einer vorausschauenden Instandhaltungsstrategie muss sicher schrittweise gegangen werden. Durch Vernetzung von Produktionsanlagen und Sensoren ergeben sich neue Möglichkeiten. Anlagen- und Maschinen-Zustände lassen sich unter diesen Bedingungen in allgemein üblichen Formaten erfassen, filtern, vorverarbeiten und analysieren. Das bedeutet vorausschauende Instandhaltung auf der Grundlage von Condition Monitoring. Dank der Fortschritte in der Sensorik und IT investieren Anlagenbetreiber zunehmend in die vorausschauende Instandhaltung, ermöglicht durch intelligente Datenanalyse. Der zeitliche Ablauf ist bei der vorausschauenden Instandhaltung wichtig. Mit Hilfe von Daten über Betriebsbedingungen, die von Sensoren gesammelt und durch Software analysiert werden, können Anlagenbetreiber Wartungsarbeiten zum optimalen Zeitpunkt durchführen. Probleme können vorhergesehen, Prozesse beschleunigt und kostspielige Produktionsstillstände vermieden werden.

Damit stehen die Daten im Idealfall nicht nur den Maschinenherstellern und Anlagenbetreibern, sondern auch den Instandhaltern zur Verfügung. Letztere erhalten dadurch mobilen Zugriff und kontextabhängige Visualisierungen über den Zustand der Anlagen. Intelligentes Anlagen-Management als Ergänzung von TPM-Ansätzen (Total Productive Maintenance) und eine Steigerung des Stellenwerts der zustandsorientierten Instandhaltung sind die Folgen. [3]

Aus Sicht der Mitarbeiter wird die Vermeidung von Ausfällen und Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit von Anlagen wichtiger als die Reparaturtätigkeit. Daraus entsteht ein neues Selbstverständnis der Instandhaltung, d.h. weg vom *Retter-Syndrom* (*Gut, dass Du die Anlage so rasch wieder zum Laufen gebracht hast.*) hin zum stillen Optimierer und Bewahrer des Status-quo.

Zahlen, Sensor- und Betriebs-Daten und Fakten sind die Kernelemente künftiger Instandhaltungsstrategien. Die Menschen sind jedoch noch nicht gewohnt, datenbasierte Entscheidungen zu treffen. Hier steht eine große Kulturveränderung bevor. Sie geht weg vom *Kesselflüsterer* zum Daten-Analytiker, weg von menschlichen hin zu den maschinellen Sensoren. [2]

3. Verfahren

Als Startpunkt gilt die Analyse der derzeitigen Instandhaltungsvorgänge. Von besonderer Bedeutung sind dabei der Mitarbeiterinsatz und deren Qualifizierung. Ein zunehmendes Problem stellt dabei der Abgang von hochqualifiziertem Personal in den Altersruhestand dar. Das, oft aus Kostengründen, fehlende zeitgerechte Heranführen junger Techniker schlägt sich derzeit in einem Knowhow Verlust nieder.

Eine Aufnahme und Beurteilung der eingesetzten Verfahren, Methoden und Hilfsmittel, der Beschaffungsvorgänge in der Materialwirtschaft und Bevorratung der Ersatzteile bildet die Basis für eine Statusbeurteilung. Eine Abbildung der derzeitigen organisatorischen Abläufe in der Instandhaltungsplanung und Durchführung inklusiver Zukauf externer Leistungen dient als wichtiges Element der Beurteilung. Eine Aufnahme der bestehenden EDV-Unterstützung und IPS und deren derzeitige Einbindung in das bestehende System. Ein weiterer wichtiger Schritt ist die Definition zusätzlicher aufzunehmender Prozess Daten und Bestimmung der notwendigen Sensorik. Den Abschluss bildet eine Überprüfung des Existierens anlagenbezogene Auswertungen hinsichtlich Verfügbarkeits-, Qualitäts- und Effizienzverlustes.

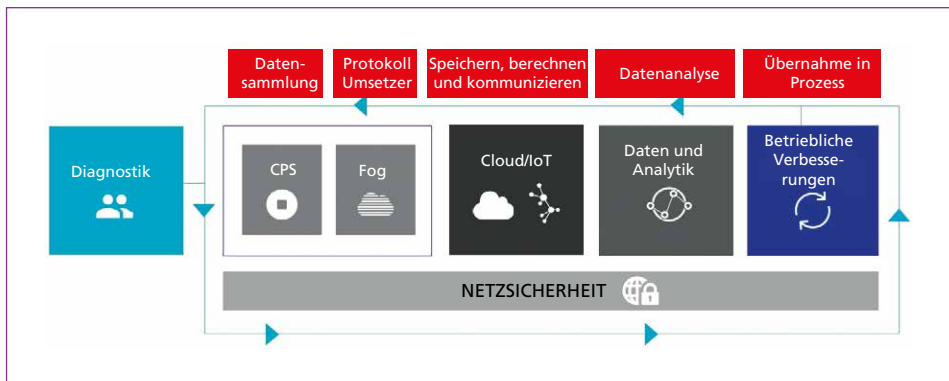


Bild 1: Beispiel einer interoperationsfähigen Plattform

Die anschließende Potentialanalyse endet in einer individuellen Ablaufplanung des Instandhaltungsprozesses. In einem detaillierten Flussdiagramm werden kritische Bereiche identifiziert und einer Überprüfung zugeführt.

Zur Digitalisierung der Wartungsverfahren werden alle verfügbaren Daten in Echtzeit in sogenannten Bibliotheken zusammengefasst. Dazu zählen wichtigen Betriebsparameter wie Energiebilanz, Brennstoffeinsatz, Verbrauch an fossilen Brennstoffen, Einsatz von Additiven, Reststoffanfall, Durchsatz und Leistungsexkursion.

Ein weiteres wichtiges Element ist die Aufzeichnung vergangener Ausfälle inklusive dazugehöriger Betriebsparameter und, falls bekannt, Ursache des Stillstandes. Warnung und Alarmer werden angezeigt und dokumentiert.

Weitere Bibliotheken sind darauf ausgerichtet die Instandhaltungsaufgaben mit dem Einsatz von CPS oder intelligenten Steuerungen nach Möglichkeit zu automatisieren und eine Planung zu hinterlegen. Die so gewonnen Daten werden aufbereitet und der weiteren Analyse bereitgestellt.

Datenstrukturen und unstrukturierte Daten werden zusammengefasst um die Verwaltung und Nutzung von Cloud-Konzepten zu ermöglichen. Diese Informationen werden vernetzt, evaluiert bewertet und visualisiert.

Die Datenanalyse-Funktionen im Operations Management beinhalten eine Beschreibung der derzeitigen Situation, Vorgaben, Prävention und Vorhersage von Ereignissen. Das selbstlernende Programm erlaubt die Simulation bestimmter Szenarien.

Die gewonnenen Daten werden verknüpft und analysiert und als Steuermechanismen auf einem Dashboard zur Verfügung gestellt.

4. Zusätzliche Einsatzgebiete

Wie kann nun dieses beschriebene Verfahren in einer optimierten Instandhaltung einer Abfallverbrennungsanlage umgesetzt werden?

Folgende Punkte finden Berücksichtigung:

- Planung der Instandhaltungsarbeiten,
- Logistik der benötigten Materialien,
- Frühzeitiges Erkennen von Bereichen mit erhöhter Korrosion.

Die Planung der Instandhaltungsarbeiten wurde im vorangegangenen Kapitel behandelt. Ebenso die im Voraus planbare Beschaffung der für den Betrieb benötigten Ersatzteile. Eine Reduktion dieser Spare Parts auf das geplante notwendige Maß schlagen sich positiv im Working Capital nieder, einer sehr wichtigen Kennzahl in der Rentabilität einer Anlage.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der sich aus der detaillierten und zeitnahe Datenerfassung ergibt, ist die mögliche Optimierung der komplexen Steuervorgänge im Prozessablauf.

Der tägliche Rundgang des Betriebsleiters mit Blick in die Feuerung und Schlacke inklusive der über die Messdaten der Prozessleittechnik abrufbaren täglichen Daten wie Verbrauch fossiler Brennstoffe, Additivverbrauch, Brennstoffanlieferung, Reststoffanteil und Durchsatz und Leistungsexkursionen lassen eine quantitative Beurteilung des Kessels zu. [1]

Korrosion und Schäden im Inneren des Kessels können erst bei Begehungen im ungeräumten Zustand erkannt und gedeutet werden. Ablagerungen, Strömungslinien und Korrosionspunkte geben das Resultat einer gesamten Heizperiode wieder. So sind Einflüsse durch temporär geänderte Fahrweise und/oder Brennstoffzusammensetzung schwer ursächlich zuordenbar. [1]

Der Umfang der Instandhaltung kann erst nach Begehung festgestellt werden. Eine mittelfristige Bedarfsplanung des Stillstandes ist somit sehr schwierig und es benötigt sehr erfahrene Instandhalter um diesen voraus zu erraten. Sollte sich der Brennstoff jedoch marktbedingt stark ändern, verändern sich auch die Parameter die eine erhöhte Korrosion auslösen können. Um eine fristgerechte Reparatur zu gewährleisten sollte die Reparatur auf dem *worst case* ausgerichtet sein um genügend Material und Personal vor Ort zu haben.

Hier könnte Maintenance 4.0 mit seiner digitalen Vernetzung von Daten einsetzen. Messung des Feuchtigkeitsgehaltes an der Aufgabestelle des Brennstoffes geben erste Indikatoren für eine Änderung der Brenngutzusammensetzung. Aus diesen Werten lässt sich eine notwendige Anhebung der Primärlufttemperatur abgeleitet.

Bereits am Markt erhältliche Temperatur Maßsysteme mit Thermoelementen entlang der Rohrwand verlegt, ermöglichen eine zeitnahe Erkennung von unterschiedlichen Temperaturbereichen.

Das detaillierte Temperaturprofil der Wände könnte auch für eine optimierte Luftführung der Primär und Sekundärluft verwendet werden. Es stünden Echtzeitdaten zur Steuerung der Prozesse zur Verfügung. Verknüpft man die erhaltenen Daten mit Besonderheiten, Vorkommnissen und Beobachtungen, generiert man ein selbstlernendes System zur Beschreibung und Optimierung des Verbrennungsprozesses und somit geringerer Korrosion.

Hiermit könnten Rückschlüsse auf partieller Verlust der Feuerfestausmauerung oder erhöhte Korrosion an Rohrwandbereichen erkannt werden. Zur Erstellung eines Referenzwertes ist hierfür jedoch eine Ist Messung des unkorrodierten Bereiches notwendig.

Ein weiterer Ansatz wäre die Bestimmung der Wärmestromdichte im Verdampferbereich. Aus dem Signal ist die Feuerungsleistung ableitbar, es sind korrosionsgefährdete Flächen lokalisierbar, Schief lagen in der Feuerung werden objektiv erkennbar, es ist sogar möglich die Feuerlage auf dem Rost zu benennen.

Gegenüber dem Frischdampfsignal ist ein zeitlicher Vorsprung von mehr als einer Minute nachgewiesen. Die Signale können direkt für die Feuerungsleistungsregelung benutzt werden. Bei anliegenden Flammen darf auf eine ablaufende Wandabzehrung geschlossen werden. Die Wärmeflussensoren erfassen und lokalisieren den Ort wo die Flammen anliegen und erlaubt die Vertrimmung der Luftführung zur Beseitigung der Schief lage. Bei der Umsetzung der Wärmestromdichte erfassung muss nicht erst der Stillstand, die Störung erlitten werden sondern präventive Korrosionsminderung ist bereits in der Betriebsphase möglich. Es gilt als bekannt, dass erhöhte Wärmestromdichte den Korrosionsverlauf beschleunigt. [1]

Die gewonnenen Daten ermöglichen eine kontinuierliche Verbesserung des Kessels. Als Stellschraube der Temperatur und Wärmeführung kann die feuerfeste Auskleidung herangezogen werden. Durch unterschiedlichen SiC Gehalte im Material und unterschiedlichen Zustellvarianten bietet sich hier ein breites Spektrum der Wärmeübertragung.

5. Zusammenfassung

Dank der Fortschritte in der Sensorik und IT investieren Anlagenbetreiber zunehmend in die vorausschauende Instandhaltung, ermöglicht durch intelligente Datenanalyse. Der zeitliche Ablauf ist bei der vorausschauenden Instandhaltung wichtig. Neue computergestützte Informationssysteme erlauben es große Datenmengen im Monitoring,

Integrations- und Informationsmanagement zu verarbeiten. Dies bietet die Möglichkeit Daten über Betriebsbedingungen, die von Sensoren gesammelt werden zu verarbeiten. Probleme können vorhergesehen, Prozesse optimiert und kostspielige Produktionsstillstände vermieden werden.

Ungeplante Stillstände zu vermeiden oder zumindest zu reduzieren ist Ziel für jeder Instandhaltungsverantwortlichen eines Betriebes. Der Weg von einem klassischen reaktiven Wartungsbetrieb zu einer vorausschauenden Instandhaltungsstrategie muss sicher schrittweise gegangen werden. Durch Vernetzung von Produktionsanlagen und zusätzlicher Sensorik ergeben sich neue Möglichkeiten, Anlagen- und Maschinen-Zustände in allgemein üblichen Formaten zu erfassen, filtern, vorverarbeiten und zu analysieren. Das bedeutet vorausschauende Instandhaltung auf der Grundlage von Condition Monitoring.

Gemeinsam mit hinterlegten Ressourcen, Ablaufplanungen und Ersatzteilmanagement können Anlagenbetreiber Wartungsarbeiten zum optimalen Zeitpunkt durchführen.

Mit Hilfe von Daten über Betriebsbedingungen, die von Sensoren gesammelt und durch Software analysiert werden, können Anlagenbetreiber Wartungsarbeiten zum optimalen Zeitpunkt durchführen. Probleme können vorhergesehen, Prozesse beschleunigt und kostspielige Produktionsstillstände vermieden werden.

Visuelle Inspektion der Feuerung und Schlacke inklusive der über die Messdaten der Prozessleittechnik abrufbaren täglichen Daten wie Verbrauch fossiler Brennstoffe, Additivverbrauch, Brennstoffanlieferung, Reststoffanteil und Durchsatz und Leistungsexkursionen lassen eine quantitative Beurteilung des Kessels zu. Korrosion und Schäden im Inneren des Kessels können jedoch erst bei Begehungen im ungereinigten Zustand erkannt und gedeutet werden. Ablagerungen, Strömungslinien und Korrosionspunkte geben das Resultat einer gesamten Heizperiode wieder. So sind Einflüsse durch temporär geänderte Fahrweise und/oder Brennstoffzusammensetzung schwer ursächlich zuordenbar.

Der Umfang der Instandhaltung kann erst nach Begehung festgestellt werden. Eine mittelfristige Bedarfsplanung des Stillstandes ist somit sehr schwierig und es benötigt sehr erfahrene Abstandhalter um diesen voraus zu erraten. Sollte sich der Brennstoff jedoch marktbedingt stark ändern, verändern sich auch die Parameter die eine erhöhte Korrosion auslösen können. Um eine fristgerechte Reparatur zu gewährleisten sollte die Reparatur auf dem *worst case* ausgerichtet sein um genügend Material und Personal vor Ort zu haben.

Hier könnte Maintenance 4.0 mit seiner digitalen Vernetzung von Daten einsetzen. Messung des Feuchtigkeitsgehaltes an der Aufgabestelle des Brennstoffes geben erste Indikatoren für eine Änderung der Brenngutzusammensetzung. Diesen Werten könnten zur Steuerung der Primärlufttemperatur herangezogen werden.

Bereits am Markt erhältliche Temperatur Maßsysteme mit Thermoelementen entlang der Rohrwand verlegt, ermöglichen eine zeitnahe Erkennung von unterschiedlichen Temperaturbereichen.

Das detaillierte Temperaturprofil der Wände könnte auch für eine optimierte Luftführung der Primär und Sekundärluft verwendet werden. Es stünden Echtzeitdaten zur Steuerung der Prozesse zur Verfügung. Verknüpft man die erhaltenen Daten mit Besonderheiten, Vorkommnissen und Beobachtungen, generiert man ein selbstlernendes System zur Beschreibung und Optimierung des Verbrennungsprozesses und somit geringerer Korrosion.

Hiermit könnten Rückschlüsse auf partieller Verlust der Feuerfestausmauerung oder erhöhte Korrosion an Rohrwandbereichen erkannt werden. Zur Erstellung eines Referenzwertes ist hierfür jedoch eine Ist Messung des unkorrodierten Bereiches notwendig.

Ein weiterer Ansatz wäre die Bestimmung der Wärmestromdichte im Verdampferbereich. Aus dem Signal ist die Feuerungsleistung ableitbar, es sind korrosionsgefährdete Flächen lokalisierbar, Schief lagen in der Feuerung werden objektiv erkennbar, es ist sogar möglich die Feuerlage auf dem Rost zu benennen. Bei anliegenden Flammen darf auf eine ablaufende Wandabzehrung geschlossen werden, die Wärmeflussensoren erfassen und lokalisieren den Ort wo die Flammen anliegen und erlaubt die Vertrimmung der Luftführung zur Beseitigung der Schief lage.

Die gewonnenen Daten ermöglichen eine kontinuierliche Verbesserung des Kessels. Als Stellschraube der Temperatur und Wärmeführung kann die feuerfeste Auskleidung herangezogen werden. Durch unterschiedlichen SiC Gehalte im Material und unterschiedlichen Zustellvarianten bietet sich hier ein breites Spektrum der Wärmeübertragung.

6. Literatur

- [1] Albert, Franz W.: Eindämmung MVA-spezifischer Korrosion: Betriebsorganisation, Instandhaltung, Prozessführung. In: Born, M. (Hrsg.): Dampferzeugungskorrosion 2009
- [2] Güntner, G.; Eckhoff, R.; Isopp, J.; Loidl, G.; Markus, M.: Instandhaltung 4.0 – Bedürfnisse, Anforderungen und Trends in der Instandhaltung 4.0. 2014
- [3] Instandhaltung 4.0; Was ist Instandhaltung 4.0?; Projekt; www.instandhaltung.de
- [4] Plattform Industrie 4.0; Zwischen Vertrauen und Absicherung: Neue Sicherheitskonzepte für Industrie 4.0; www.plattform-i40.de
- [5] Spath, D. (Hrsg.); Ganschar, O.; Gerlach, S.; Hämmerle, M.; Krause, T.; Schlund, S.: Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0, Studie