

GASWÄRME **International**

Gasanwendung in Industrie und Gewerbe

<http://www.gaswaerme-online.de>

Schwerpunkt
Erdgas in der industriellen Fertigung

AICHELIN
Heat Treatment Systems

Integratives Instandhaltungsmanagement von Thermoprozessanlagen

Integrative maintenance management of heat-processing systems

MSc Hartmut Steck-Winter, AICHELIN Service GmbH, Ludwigsburg

erschieden in

GASWÄRME International 7-8/2008

Vulkan-Verlag GmbH, Essen

Ansprechpartner: Stephan Schalm, Telefon 0201/82002-12, E-Mail: s.schalm@vulkan-verlag.de

Integratives Instandhaltungsmanagement von Thermoprozessanlagen

Integrative maintenance management of heat-processing systems

Von Hartmut Steck-Winter

Maschinenschäden, Folgeschäden und ungeplante Anlagenstillstände können durch den Einsatz von Zustandsüberwachungssystemen an den Anlagen weitestgehend verhindert werden. Getrieben von Entwicklungen zur Überwachung von offshore Windkraftanlagen ist jetzt insbesondere die Schwingungsdiagnose kostengünstig einsetzbar. Damit ist es auch möglich, bei Thermoprozessanlagen eine zustandsorientierte Instandhaltung einzuführen und somit ungeplante Ofenstillstände weiter zu reduzieren. Design for Service ist ein weiterer Stellhebel für die Verbesserung der Instandhaltung. Die Automatisierungstechnik trägt durch Diagnosen, Statistiken und für den Instandhalter aufbereitete Informationen zum optimalen Instandhaltungsmix von Thermoprozessanlagen bei. Die im Beitrag aufgezeigten Möglichkeiten sind jedoch nicht nur auf neue Anlagen begrenzt – im Gegenteil. Sie lassen sich zum Teil recht einfach und kostengünstig an vorhandenen Thermoprozessanlagen nachrüsten.

Unplanned furnace downtime can be largely avoided by the use of condition monitoring systems. Driven by developments of offshore wind power plants, vibration diagnostic in particular is now inexpensively applicable. Design for service is another important lever for improving maintenance of thermal processing plants. Especially automation technology with its utilization of diagnoses, statistics, and other information functionality is key in maintaining thermal processing plants at high levels. The opportunities identified in this article are not limited to new installations only – on the contrary. They are also applicable to existing thermal processing plants.

Geringere störungsbedingte Stillstandszeiten sind der wirksamste Stellhebel zur Produktivitätssteigerung bereits hoch automatisierter Thermoprozessanlagen.

Die Feuerwehrstrategie der Instandhaltung alleine gehört der Vergangenheit an, aber auch die periodische vorbeugende Instandhaltung ist umstritten.

Technische Störungen und Produktionsausfälle sind jedoch kein unabwendbares Schicksal. Durch konstruktive Vorsorge und mit dem richtigen Instandhaltungsmix können diese zu einem großen Teil vermieden werden.

Schon bei der Planung und Konstruktion neuer Thermoprozessanlagen oder aber beim Umbau und der Modernisierung von vorhandenen Thermoprozessanlagen muss das Design for Service als

wichtiges Thema berücksichtigt werden: Bereits in der Konstruktion wird über den Erfolg und die Kosten von Instandhaltungsaktivitäten entschieden.

Bild 1:
Abnutzungsvorrat
Fig. 1:
Service-life reserve

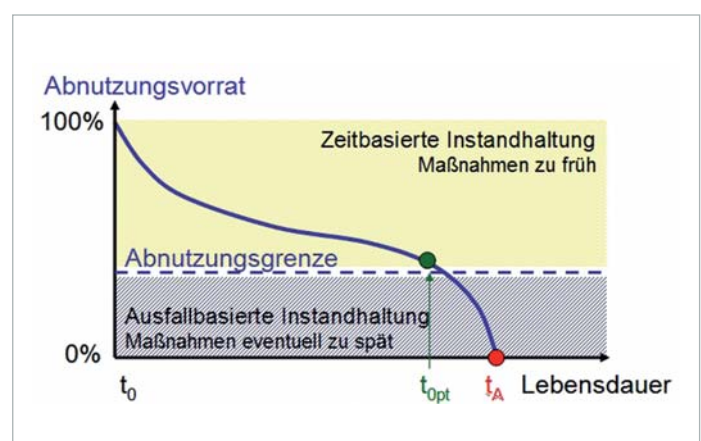
Ordnungsbegriffe der Instandhaltung

Instandhaltung ist der Oberbegriff für Wartung, Inspektion und Instandsetzung [1]. Die Instandhaltung dient in einer modernen Definition dem Ziel, die Sicherheit, Energieeffizienz, Produktqualität und die Funktion von Anlagen und Betriebsmitteln sicherzustellen. Die Ordnungsbegriffe der Instandhaltung sollen einleitend kurz erklärt werden.

Abnutzungsvorrat

Zur Erklärung der im Zeitablauf abnehmenden Funktionsfähigkeit einer Anlage dient das in **Bild 1** dargestellte Modell des Abnutzungsvorrates. Bei diesem Modell wird davon ausgegangen, dass den Betriebsmitteln bzw. den Anlagen eine bestimmte Vorratsmenge an Funktionserfüllungen zur Verfügung steht. Diese Vorratsmenge an Funktionserfüllungen wird als Abnutzungsvorrat einer Anlage bezeichnet. Die Instandhaltung ist dafür verantwortlich, den Abbau des Abnutzungsvorrates zu beobachten und den abgebauten Vorrat wieder zu ersetzen [3].

Wie in Bild 1 dargestellt reduziert sich der Abnutzungsvorrat im Zeitverlauf



nicht linear. Der Verlauf der Abnutzung wird über die Betriebsweise der Anlage beeinflusst. Der optimale Austauschzeitpunkt (t_{opt}) eines Bauteils liegt knapp oberhalb der Abnutzungsgrenze. Wird ein Bauteil ersetzt oder repariert, bevor dessen Abnutzungsvorrat vollständig aufgebraucht ist, bleibt der dem Bauteil zu diesem Zeitpunkt noch innewohnende Abnutzungsvorrat ungenutzt. Wird mit dem Ersatz oder der Reparatur bis zum Ausfall (t_A) des Bauteils gewartet, verzehrt man seinen Abnutzungsvorrat vollständig. Die vollständige Nutzung des Abnutzungsvorrates eines Bauteils ist jedoch nicht unproblematisch. So kann der Ausfall dieses Bauteils ein sprunghaftes Ansteigen der Abnutzung anderer Bauteile der gleichen Anlage zur Folge haben.

Wartung

Die Wartung ist eine Maßnahme zur Verzögerung des Abbaus des vorhandenen Abnutzungsvorrats. Unter dem Begriff Wartung sind die Teilmaßnahmen Reinigen, Konservieren, Schmieren, Ergänzen, Auswechseln und Nachstellen zusammengefasst.

Inspektion

Die Inspektion umfasst alle Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes einschließlich der Bestimmung der Ursachen der Abnutzung und dem Ableiten der notwendigen Konsequenzen für eine künftige Nutzung.

Die Begehung bzw. Sichtkontrolle ist die einfachste Form der Inspektion. Sie erfolgt in der Regel während des laufenden Betriebs mit dem Ziel, durch (grobe) Inaugenscheinnahme den Gesamtzustand zu überprüfen.

Die Funktionsprüfung wird durchgeführt, um zu bestätigen, dass eine Einheit imstande ist, die geforderte Funktion zu erfüllen.

Zustandsermittlung

Die Zustandsermittlung hat eine detaillierte Beurteilung des Ist-Zustandes der betrachteten Betriebsmittel nach objektiven Kriterien zum Ziel. Welche Diagnosegeräte zur Zustandsermittlung herangezogen werden können, lässt sich aus den üblichen Fehlerursachen ableiten. Die Zustandsermittlung kann entweder periodisch (siehe Kap. 0) oder aber dauernd (siehe Kap. 0) erfolgen.

Instandsetzung

Instandsetzung bezeichnet die Maßnahmen zur Rückführung oder Wiederherstellung in einen definierten funktionsfähigen Zustand. Sie ist in die Teilmaßnahmen Ausbessern und Austauschen gegliedert. Oftmals wird die Wiederherstellung des Sollzustandes nur schrittweise erreicht, indem, beispielsweise vor einer endgültigen Instandsetzung, zunächst eine vorläufige Instandsetzung durchgeführt wird. In der Regel kann die Instandsetzung nur im Stillstand der Anlage erfolgen.

Instandhaltungsanforderungen einer Thermoprozessanlage

Alle Produktionsanlagen, also auch Thermoprozessanlagen, büßen bei der Nutzung materielle Substanz und technische Effizienz ein (siehe Kap. 0). Diese Abnutzungen kumulieren sich im Zeitablauf und führen so letztendlich zu Störungen bzw. Leistungseinbußen, denen mit Instandhaltungsmaßnahmen entgegen gewirkt werden muss [3].

Ausfallverhalten technischer Systeme (Wirkungszusammenhang)

Die Tribologie, die Lehre vom Verschleiß, versucht, die Verschleißwirkungen auf Verschleißursachen zurückzuführen. Derzeit existiert aber weder eine einheitliche noch eine hinreichend allgemeine Theorie des Verschleißprozesses. Naturgemäß handelt es sich daher bei allen theoretischen Ansätzen um starke Vereinfachungen der komplexen realen Zusammenhänge.

Generell gilt:

- Die Verkettung mehrerer Anlagen verschärft die Folgen von Produktionsstörungen [6]
- Mit zunehmender Komplexität steigt die Fehleranfälligkeit von Anlagen [6]
- Die individuelle Nutzung und die Wartung der Anlage hat einen großen Einfluss auf den Abnutzungsverlauf.

Verfügbarkeit

Das Ziel der Instandhaltung ist die Gewährleistung der maximalen Verfügbarkeit¹ einer Thermoprozessanlage. Nach der Studie „Intelligent Maintenance“ [6] beträgt die durchschnittliche Verfügbarkeit der Maschinen 88 % bzw. 93 % deren Ausfall zu einem Stillstand der Produktion führen kann. Von Thermopro-

zessanlagen wird meist eine noch höhere Verfügbarkeit erwartet.

Zur Berechnung der Verfügbarkeit (Gleichung 1) wird zunächst der Betrachtungszeitraum festgelegt. Die Verfügbarkeit (V) errechnet sich dann aus den Bezugsgrößen Nutzungszeit (N), störungsbedingten Instandsetzungszeit (I_s) und Instandhaltungszeit (I_h) für den gewählten Betrachtungszeitraum. Sowohl die Instandsetzungszeit (I_s) wie auch die Instandhaltungszeit (I_h) werden von der Wartungsfreundlichkeit bzw. Servicefreundlichkeit der Konstruktion bestimmt.

$$V = \frac{N}{N + I_s + I_h} \quad (1)$$

Aus Gleichung 1 wird deutlich, dass eine Reduzierung der vorbeugenden Instandhaltungszeiten (I_h) die Verfügbarkeit einer Anlage anscheinend erhöht. Wenn jedoch aufgrund des Unterlassens präventiver Maßnahmen die störungsbedingte Instandsetzungszeit (I_s) zunimmt, sinkt sukzessive die Verfügbarkeit (V). Fehlende Ersatzteile wirken sich über die Verlängerung der Instandsetzungszeit ebenfalls direkt auf die Verfügbarkeit aus.

Abheiz- und Wiederbereitstellungszeit

Bei der Instandsetzungszeit von Thermoprozessanlagen kommt noch eine weitere thermoprozessanlagen-spezifische Variable mit großer Auswirkung hinzu, die Abheiz- und Wiederbereitstellungszeit. Bei einigen Störungen kann die Instandsetzung nur an der abgestellten „kalten“ Ofenanlage durchgeführt werden. Die Zeit zum Abheizen, Wiederanheizen und zur Neukonditionierung der Prozessatmosphäre kann ein Vielfaches der reinen Instandsetzungszeit betragen.

Um die Verfügbarkeit zu maximieren, gilt es also, das Verhältnis zwischen Instandsetzungszeit und Zeit für vorbeugende Instandhaltungsmaßnahmen so zu beeinflussen, dass die Gesamtinstandhaltungszeit optimiert, d.h. minimiert wird.

In der Praxis hat dies zur Folge, dass ein ungeplantes Abheizen unter Ausschöpfung aller technischen Möglichkeiten vermieden werden muss.

Zuverlässigkeit (MTBF und MTTF)

Die Zuverlässigkeit (MTBF) gibt die Wahrscheinlichkeit dafür an, ob ein System über einen bestimmten Zeitraum unter

gegebenen Bedingungen ausfallfrei arbeitet. Die Zuverlässigkeit wird durch die mittlere ausfallfreie Zeit MTBF (Mean Time Between Failures) ausgedrückt. Die MTBF gibt an, nach wie viel Stunden Nutzungszeit (N) eine Störung zu erwarten ist.

Die MTBF ist definiert als Quotient aus Nutzungszeit (N) zu Anzahl der technisch bedingten Ausfälle (Gleichung 2).

$$MTBF = \frac{N}{\sum \text{technisch} \cdot \text{bedingte} \cdot \text{Ausfälle}} \quad (2)$$

Eine hohe MTBF bedeutet eine hohe Zuverlässigkeit bzw. eine niedrige Ausfallrate.

Die mittlere Zeit bis zum Ausfall eines Bauteils (Mean Time to Failure) beschreibt die Zuverlässigkeit der verwendeten Bauteile. Die MTTF ist eine statistischen Größe, die nichts mit einer garantierten Lebensdauer zu tun hat. Die MTTF wird meist in Jahren oder in Zyklen angegeben.

Instandhaltbarkeit (MTTR)

Die Instandhaltbarkeit wird definiert als die durchschnittliche Instandsetzungszeit MTTR (Mean Time to Repair). Die MTTR ergibt sich als Quotient aus Instandsetzungszeit (Is) zur Summe der technisch bedingten Ausfälle.

Hier spielen also die konstruktive Auslegung und Diagnosesysteme ebenfalls eine große Rolle, denn die MTTR wird umso kürzer ausfallen, je schneller eine Störung lokalisiert werden kann und je schneller defekte Teile oder Verschleißteile ausgetauscht werden können.

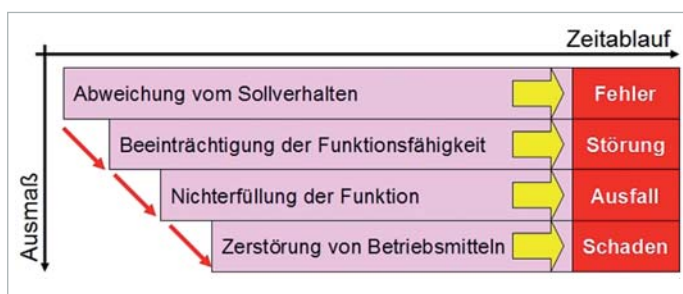
Ausfallrate und Einsatzdauer

Eine übliche Form zur Beschreibung der Bauteilzuverlässigkeit ist die Angabe der Ausfallrate. Die Ausfallrate (Failures in Time) beschreibt die Rate, in der funktionsfähige Bauteile ausfallen.

In diesem Modell wird unterstellt, dass das Ausfallverhalten vieler Arten von

Bild 3: Vom Fehler zum Schaden

Fig. 3: From a fault to actual damage



Bauteilen, speziell aber von elektronischen Bauteilen, wie in Bild 2 dargestellt, in Abhängigkeit von der Zeit, der Kontur einer Badewanne folgt.

Am Anfang der Gebrauchsdauer fallen verstärkt Bauteile aus. Dies sind Frühausfälle, die meist noch beim Hersteller bzw. kurz nach dem Einsatz bzw. Ersatz auftreten. Im mittleren Bereich treten Normalausfälle, synonym auch Zufallsausfälle genannt, auf. Die Ausfallrate verhält sich in diesem Bereich über lange Zeit relativ konstant. Ist der Abnutzungsvorrat aufgebraucht treten Verschleißausfälle auf. Der optimale Austauschzeitpunkt eines Bauteils (topt) liegt vor dem steilen Anstieg der Verschleißausfälle.

Einerseits widersprechen neuere Erkenntnisse dem Glauben, dass es immer einen Zusammenhang zwischen Zuverlässigkeit und Betriebsdauer gibt. Andererseits zeigt die Badewannenkurve und lehrt die Erfahrung, dass es bei gravierenden Störungen (siehe Kap. 0) sicherer ist, Instandhaltungsstrategien zu entwickeln, bei denen davon ausgegangen wird, dass Störungen jederzeit auftreten können!

Schwachstellen

Nicht alle Störungen lassen sich mit dem Verbrauch des Abnutzungsvorrats erklären. Nur ein Teil der Betriebsmittel erleidet einen Schaden, weil es nicht rechtzeitig ersetzt wurde.

Manche Störungen sind die Folge von chronischen Schwachstellen. Oft sind diese Fehler bereits mehrmals aufgetre-

ten und hätten als Schwachstellen bereits erkannt und beseitigt werden müssen. Dass dies nicht geschehen ist, ist kein technischer Fehler, sondern ein organisatorisches Versäumnis. Einige Störungen treten als Folge von Bedienungsfehlern auf. Ein weiterer Teil der Betriebsmittel wird bei unsachgemäßen Wartungen zerstört [2].

Klassifizierung von technischen Defekten

Wie in Bild 3 dargestellt, kann ein technischer Fehler zur Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit, zu einem Ausfall und am Ende sogar zu einem Schaden führen.

Die Fragen nach den Fehlerursachen und den Störungsfolgen sind die Kernfragen zu Beginn auf der Suche nach einem umfassenden, integrativen Instandhaltungskonzept. Diese Fragestellung ermöglicht dann eine Analyse der Störungsfolgen, damit entschieden werden kann, für welche potenzielle Störungen präventive Vorsorge, konstruktiv oder planerisch, getroffen werden muss, damit kein Ausfall oder gar ein Schaden entsteht.

Diese Betrachtung führt dann zu einer Klassifizierung nach tolerierbaren Störungen und nicht tolerierbaren Störungen, die nicht auftreten dürften, weil damit untolerierbare Folgen verbunden sind. Naheliegende Beispiele für nicht tolerierbare Folgen sind Gesundheitsgefahren, Umweltgefährdungen oder länger anhaltende Produktionsausfälle. Zur Abwendung von nicht tolerierbaren Störungen sind zusätzlich konstruktive Maßnahmen, beispielsweise zyklische oder permanente Überwachung, oder Redundanz erforderlich.

Im Gegensatz zu Maschinen kann bei Thermoprozessanlagen im Falle einer Störung zu der reinen Instandsetzungszeit auch noch die Zeit zum Abkühlen, Wiederaufheizen und zur Konditionierung der Ofenatmosphäre hinzukom-

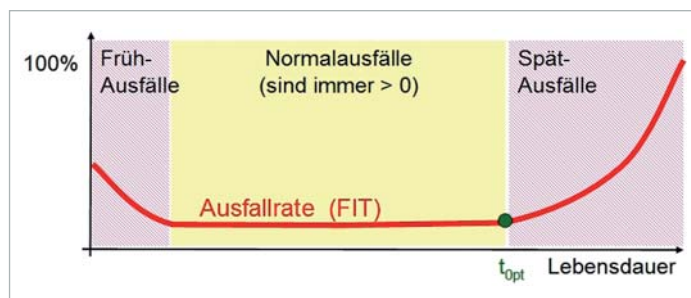


Bild 2: Badewannenkurve

Fig. 2: Bath tub curve

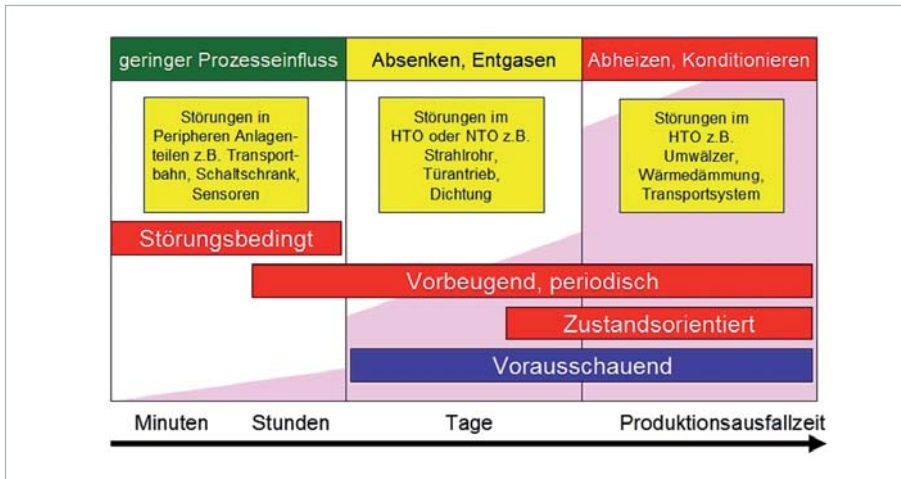


Bild 4: Instandsetzungszeit versus Instandhaltungsstrategie
Fig. 4: Maintenance-time versus maintenance strategy

men (siehe Kap. 0). Die Thermoprozessanlagen spezifische Instandsetzungszeit zum Abkühlen und Wiederaufheizen kann ein Vielfaches der reinen Instandsetzungszeit zur Beseitigung einer Störung betragen.

Dieser Zusammenhang ist in **Bild 4** dargestellt.

Die Folgen eines Anlagenausfalls hängen dann auch noch davon ab, welche Bedeutung die Anlage im Produktionsprozess hat. Generell steigen die ökonomischen Folgen mit zunehmender Verkettung überproportional an. Sind mehrere funktionsgleiche Anlagen vorhanden, kann bei einem Anlagenausfall die Produktion der ausgefallenen Anlage ggf. auf andere Anlagen verlagert werden, soweit diese nicht bereits mit maximaler Auslastung arbeiten. Die Folgen beschränken sich in diesem Fall auf die Zunahme der Produktionskosten.

Qualifikation des Servicepersonals

Die Qualifikation des Instandhaltungspersonals ist eine wichtige Voraussetzung, um die Leistungspotenziale einer Anlage erschließen zu können.

Instandhalter benötigen Kenntnisse über den Aufbau und das Gefährdungspotenzial der einzelnen Anlagen. Vom Instandhaltungspersonal wird erwartet, dass es Instandhaltungsarbeiten an einer Thermoprozessanlage selbstständig, verantwortungsbewusst und vor allem sicher durchführen kann.

Instandhaltungsstrategien

Instandhaltungsstrategien sind Regeln, die angeben, zu welchen Zeitpunkten welche Aktionen an welchen Aggregaten bzw. Bauteilen vorgenommen werden sollen. Es gilt, im Spannungsfeld Wirtschaftlichkeit, Sicherheit und Ver-

fügbarekeit die richtigen Entscheidungen zu treffen, um eine Kostenminimierung und eine Verfügbarkeitsmaximierung der Anlagen zu erreichen [4].

Alle Instandhaltungsstrategien (**Bild 5**) werden zunächst danach unterschieden, ob auf Störungen reagiert oder auch vorbeugend oder gar vorausschauend agiert wird. Für alle Instandhaltungsstrategien muss qualifiziertes Fachpersonal eingesetzt werden, das in der Lage ist, den Anlagenzustand exakt zu beurteilen. Die Instandhaltungsstrategien werden im Folgenden in ihren Grundzügen beschrieben.

Störungsbedingte Instandhaltung – die Feuerwehrstrategie

Bei der störungsbedingten Instandhaltung werden Maßnahmen erst eingeleitet, nachdem bereits ein Fehler aufgetreten ist, d. h. Ausfälle werden hier in Kauf genommen und gegebenenfalls durch spezielle Maßnahmen, z.B. Redundanzen und Diagnosesysteme, minimiert [7].

Ein Vorteil der störungsbedingten Instandhaltung liegt darin, dass der maximale Abnutzungsvorrat eines Bauteils genutzt wird (siehe Kap. 0). Des Weiteren ist der Planungsaufwand wesentlich geringer als bei allen anderen Instandhaltungsstrategien. Der Nachteil der störungsbedingten Strategie ist, dass die Anlage der Produktion zu ungeplanten Zeitpunkten nicht mehr zu Verfügung steht und dass Ausfälle eines Bauteils gegebenenfalls Folgeschäden anderer Bauteile verursachen können [3]. Wegen der Nichtplanbarkeit der Instandhaltungsarbeiten sind ständig Instandhaltungskapazitäten bereitzuhalten, weil ein Ausfall einer Anlage nicht vorhersehbar ist.

Instandhaltung nach außergewöhnlichem Betriebszustand

Eine Sonderform der störungsbedingten Instandhaltung sind Ereignisse mit erhöhter Betriebsmittelbeanspruchung, wie z. B. eine Verpuffung. Diese Ereignisse können den Abnutzungsvorrat überdurchschnittlich aufbrauchen. Auch Fehlfunktionen oder Ausfälle auf Grund von Konstruktionsfehlern können zu einer vorbeugenden Instandhaltung nach außergewöhnlichem Betriebszustand führen.

Vorbeugende periodische Instandhaltung

Ziel vorbeugender Strategien ist es, Instandhaltungsmaßnahmen schon vor

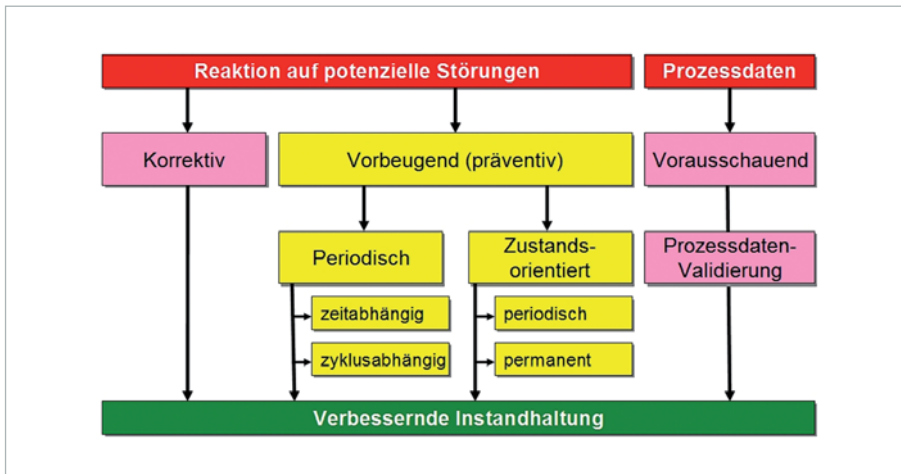


Bild 5: Instandhaltungsstrategien für Thermoprozessanlagen
Fig. 5: Maintenance strategies for heat-processing systems

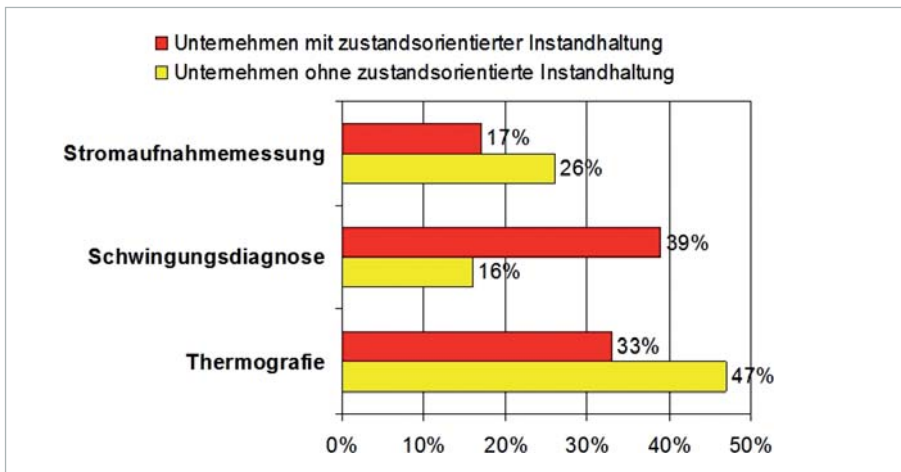


Bild 6: Konzepte für zustandsorientierte Instandhaltungsstrategien [6]

Fig. 6: Concepts for condition-orientated maintenance strategies [6]

dem Auftreten von Fehlern zu ergreifen, um daraus resultierende Stillstände zu vermeiden.

Bei den vorbeugenden Strategien wird davon ausgegangen, dass die Ausfallzeitpunkte aufgrund der vorhandenen Informationen über das Ausfallverhalten sowie der Belastung und der Nutzungszeit bekannt sind bzw. aus gesammelten Daten abgeleitet werden können. Die vorbeugende periodische Instandhaltung stützt sich also auf das Modell des Abnutzungsvorrats (siehe Kap. 0) bzw. der Ausfallrate über die Einsatzdauer (siehe Kap. 0).

Die vorbeugende Instandhaltung ist besonders dann sinnvoll, wenn das vorbeugende Auswechseln des Betriebsmittels billiger als seine Überprüfung ist, beispielsweise ein Filterwechsel.

Vorteile der vorbeugenden Strategie sind die Planbarkeit der Instandhaltungsmaß-

nahmen und die Reduzierung der ungeplanten Anlagenausfälle. Nachteilig wirken sich die hohen Kosten aus [3].

Die wichtigste Unbekannte ist das Zeitintervall zwischen zwei Instandhaltungen. Eine theoretische Planung von Maßnahmen zur Vorbeugung von Schäden und Ausfällen ist äußerst komplex: Die mittlere Zeit zwischen zwei Schäden ist unterschiedlich, die Nutzungsdauer gleichartiger Betriebsmittel streut, die statistischen Schadenserfahrungen sind unzureichend.

Zustandsorientierte Instandhaltung

Die Problematik der Ermittlung des optimalen (kostenminimalen) Intervalls für vorbeugende Instandhaltungsmaßnahmen kann durch die zustandsorientierte Instandhaltung verringert werden.

Einigen Störungen gehen vor ihrem Eintritt Warnsignale voraus. Ziel der zustandsabhängigen Instandhaltung ist es, die Warnsignale zu erkennen und so frühzeitig potenzielle Fehlerquellen zu eliminieren. Wenn die Inspektionszyklen richtig festgelegt sind oder gar permanent erfolgen, kann mit geringeren Kosten eine ähnlich hohe Verfügbarkeit erreicht werden wie bei der vorbeugenden Strategie.

Bei der zustandsorientierten Instandhaltung werden überwiegend die in **Bild 6** dargestellten Methoden erfolgreich eingesetzt [6].

Das Prinzip einer Zustandsüberwachung ist ganz einfach: Zuerst werden die physikalischen Eigenschaften, die den Zustand eines Betriebsmittels charakterisieren, ermittelt (z. B. die Unwucht eines Ventilatorlaufrads). Diese Eigenschaften

werden aufgezeichnet, um Trends erkennen zu können. Über einen längeren Zeitraum hinweg zeigen diese Trends eine Verschlechterung des Betriebsmittelzustands an.

Als die beiden wesentlichen Vorteile zustandsorientierter Instandhaltung werden die Verringerung von Stillstandszeiten und die Verringerung von Instandhaltungskosten genannt. Zusätzliche Vorteile sind die Planbarkeit von Stillstandszeiten, die ausreichende Reparaturvorlaufzeiten gestattet sowie die Erhöhung der Betriebssicherheit durch die exakte Kenntnis des Abnutzungszustands von Betriebsmitteln und Bauteilen. Mit Hilfe der zustandsorientierten Instandhaltung lassen sich nachweislich Einsparungspotenziale erschließen, die allerdings geringer ausfallen als ursprünglich erhofft [6].

Periodische Inspektionen werden hauptsächlich für mechanische Bauteile eingesetzt, da die Abnutzung von elektronischen Bauteilen nur schwer feststellbar ist. Beispiele für die periodische Instandhaltung sind die Thermografie und die Endoskopie.

Thermografie

Unter Thermografie wird die Feststellung der Wärmeemission verstanden, mit Hilfe derer mögliche thermische Verluste oder bestehende Wärmequellen identifiziert werden können.

Typische Anwendungsbeispiele der Thermografie an Thermoprozessanlagen sind die Überprüfung der Wärmedämmung auf Isolationsdefekte, aber auch Inspektionen elektrischer Anlagenteile und Schaltschränke. **Bild 7** zeigt die Thermografie einer Ofendecke.

Die Schädigung der Wärmedämmung ist an der erhöhten Temperatur deutlich erkennbar.

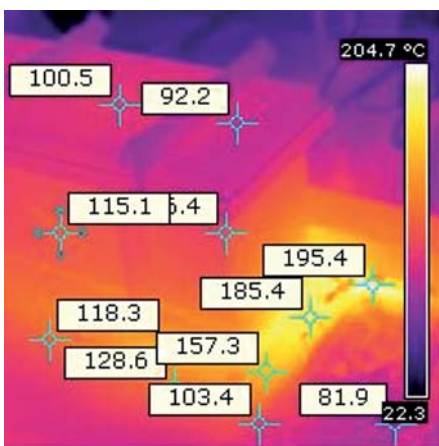


Bild 7: Thermografie einer Ofendecke (Werkbild Aichelin Service GmbH)

Fig. 7: Thermograph of a furnace roof (works photo from Aichelin Service GmbH)

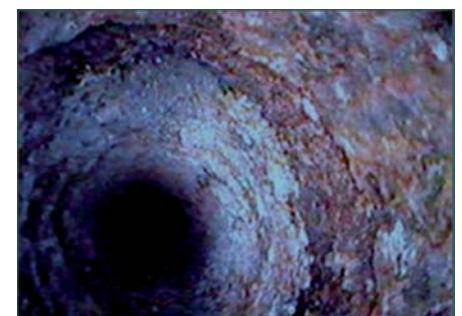


Bild 8: Endoskopie eines Wärmetauschers (Werkbild InfraServ)

Fig. 8: Endoscopic image of a heat-exchanger (works photo: InfraServ)

Endoskopie

Ein noch wenig genutztes Inspektionswerkzeug ist die Endoskopie. Typische Anwendungsbeispiele der Endoskopie an Thermoprozessanlagen sind Inspektionen an Rohrleitungen, Behältern, Ventilen, Wärmetauschern, verdeckten Schweißnähten und der Ofenisolierung. Mit flexiblen Endoskopen können Längen bis zu 3 m inspiziert werden. **Bild 8** zeigt die Endoskopie eines Wärmetauschers.

Die starke Korrosion der Rohrleitungen ist gut sichtbar und ein deutliches Indiz für die Notwendigkeit einer vorbeugenden Instandhaltung.

Online Condition Monitoring

Condition Monitoring zielt darauf ab, dass anbahnende Fehler automatisch, d.h. vor einem Ausfall der Anlage, erkannt werden. Dabei wird der Abnutzungsvorrat von Parametern, welche die Verschlechterung der Einheit kennzeichnen, abgeleitet. Die Zustandsinformationen erlauben eine weitgehende Ausschöpfung des Abnutzungsvorrats.

In Thermoprozessanlagen bietet sich Condition Monitoring bei Betriebsmitteln an, bei denen eine Diagnosemessung mit bewährten Methoden einfach möglich ist und deren Ausfall zu einem Anlagenstillstand führt, bei dem die Anlage abgeheizt werden muss. Es muss also nicht die gesamte Anlage mit Condition Monitoring Systemen überwacht werden. Es genügt in der Regel an kritischen Bauteilen Sensoren zu installieren.

Schwingungsdiagnose

Getrieben von Entwicklungen für Windenergieanlagen hat sich die Messung der Rotorschwingungen als Indikator für den Anlagenzustand seit Jahren bewährt [5]. Typische Anwendungsbeispiele der Schwingungsdiagnose an einer Thermoprozessanlage sind Ventilatoren, Umwälzlüfter, Pumpen und große Getriebe, aber auch Schwingungsüberwachungen im niedrigen Frequenzbereich wie z. B. für Band- und Rollentriebe.

Mit der Erfassung der Schwingstärke in der Einheit mm/s nach DIN ISO 10816 kann die Schädigung einzelner bewegter Teile, wie z. B. die Unwucht umlaufender Rotoren (z. B. verursacht durch Anbackungen bei Ventilatoren), der Ausrichtfehler von Wellen und Kupplungen, der Verzahnungsfehler bei Getrieben und auch der Verschleiß von Wälz- und Gleit-

lagern durch Messungen an nicht rotierenden Teilen analysiert werden.

Zur Messung können Schwingungssensoren (**Bild 9**) mit einem für Ofenanlagen gut geeigneten Arbeitstemperaturbereich eingesetzt werden. Damit ist auch die Montage des Sensors auf der Ofendecke, z.B. zur Überwachung von Umwälzventilatoren, gut möglich.

Die Erfassung der Messgrößen für die Schwingungsmessungen können grundsätzlich bei konstanten oder veränderlichen Betriebsbedingungen erfolgen. Die Beurteilung basiert jedoch immer auf der Vergleichbarkeit der Messergebnisse, d. h. Ergebnisse, die unter gleichartigen Betriebsbedingungen aufgenommen werden.

Das Condition Monitoring hat noch enge technische und wirtschaftliche Grenzen. Daher zögern viele Betreiber von Thermoprozessanlagen mit der Einführung dieser Systeme. Als wesentliche Gründe befürchten die meisten Unternehmen, dass das Condition Monitoring entweder zu komplex oder zu teuer sei. Zu bedenken ist jedoch, dass der Kostenaspekt nicht nur aus dem materiellen Wert des Monitoring Systems begrenzt werden sollte. Der Wert einer zusätzlichen Diagnose ergibt sich aus den wahrscheinlich vermeidbaren Stillstands- und Wartungskosten. Ein zusätzlicher Sensor kann sich daher durchaus rechnen.

Lecküberprüfung der Gasventile

Eine relativ einfache Zustandsüberwachung der Gasventile ist mit Hilfe einer Dichtigkeitsprüfung möglich. Die Dichtigkeitskontrolle prüft die Dichtheit des zentralen Absperrventils und mehrerer Brennerventile.

Sie hat die Aufgabe, eine unzulässige Undichtheit an einem der Gasventile festzustellen und einen Brennerstart zu verhindern. Während der Dichtigkeitsprüfung überwacht ein Druckwächter den Druck zwischen dem Hauptventil und den Brennerventilen. Fällt der Druck unter den Betriebsdruck ab, ist zumindest ein Brennerventil undicht.

Verbessernde Instandhaltung

Das höchste Ziel der störungsbedingten Instandsetzung ist meistens die Anlage schnellstmöglich wieder in Produktion zurückzubringen. Dazu wird das Betriebsmittel, welches versagt und die Störung verursacht hatte, schnellstmöglich ausgetauscht. Auch bei einer vor-

beugenden Instandhaltung ist Zeit bares Geld.

Manchmal wird dabei übersehen, dass das Versagen oder der vorzeitige Verschleiß eines Betriebsmittels möglicherweise ein Indiz dafür ist, dass die derzeitige Ausführung nicht optimal geeignet ist (siehe Schwachstellen in Kap. 0). In solch einem Fall ist die Instandsetzung eine gute Gelegenheit für eine qualitative Aufwertung durch Umbau und Modernisierung (siehe Kap. Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.). Einige Unternehmen haben es sich daher zur Strategie gemacht, Stillstandszeiten und produktionsfreie Zeiten systematisch für eine Erhöhung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit zu nutzen.

Wenn die Strategie der verbessernden Instandhaltung in einem Unternehmen gelebt wird und geschultes Personal und geeignetes Werkzeug vorhanden ist, verursacht diese Strategie kaum zusätzliche Kosten, hat aber meist einen hohen Nutzen.

Prozessdatenvalidierung

Die Prozessdatenvalidierung nach VDI 2048² wird in energie- und kraftwerkstechnischen Anlagen zur Prozessüberwachung, Betriebsmittelüberwachung und zur zustandsorientierten Instandhaltung eingesetzt. Es gilt als die bestmögliche Qualitätskontrolle zum Erkennen von groben Messfehlern. In der Thermo- prozesstechnik ist der Einsatz der Prozessdatenvalidierung bisher weitestgehend unbekannt.

Der Grundgedanke dieses Verfahrens ist recht einfach:



Bild 9: Am Motor angebaute Schwingungssensor (Werkbild IFM Electronic)

Fig. 9: Vibration sensor attached to motor (works photo: IFM Electronic)

Der Thermoprozess kann mit Massen-, Energie- und Stoffbilanzen beschrieben werden. Der Massen- und Energiefluss innerhalb einer Anlage bzw. eines Anlagenteils wird gemessen. Die „wahren Messwerte“ müssten den Massenbilanzen, Energiebilanzen oder Stoffbilanzen entsprechen.

Alle Messungen sind mit Fehlern behaftet. Anstelle einer gerätetechnischen Redundanz wird jedoch eine funktionale Redundanz auf Basis von Bilanzrechnungen eingeführt. Mit Hilfe dieser Bilanzen werden die Messwerte validiert.

Hierzu ein vereinfachtes Beispiel: Die Abwärme aus einem Härtebad wird über einen Wärmetauscher abgeführt. Die Vorlauftemperatur, die Rücklauftemperatur, die Härtebadtemperatur und der Energieeintrag in das Härtebad stehen in einem bekannten funktionalen (bilanzzielen) Zusammenhang. Die Messungen müssten den funktionalen Zusammenhang abbilden. Aus den Abweichungen lässt sich daher auf Messfehler oder Störungen schließen. Eine Verkalkung des Wärmetauschers könnte z.B. als Zustandsinformation abgeleitet werden.

Die Prozessdatenvalidierung in Thermoanlagen ermöglicht

- die Identifizierung fehlerhafter Messwertgeber und Regelgrößen,
- die Detektierung von Leckagen (z. B. an Ventilen),
- die Erkennung von Wirkungsgradveränderungen und
- die frühzeitige Erkennung ungewollter Betriebszustände.

Da die Prozessdatenvalidierung in Thermoanlagen noch am Anfang steht, soll an dieser Stelle nur auf den Entwicklungsbedarf, aber auch auf das zukünftige Potenzial dieses speziellen Verfahrens der zustandsabhängigen Instandhaltung hingewiesen werden.

Der richtige Instandhaltungsmix für Thermoanlagen

Der Instandhaltungsmix hat unmittelbaren Einfluss auf die Instandhaltungskosten³ und auf die Verfügbarkeit einer Thermoanlage. Eine allgemeingültige Instandhaltungsstrategie für Thermoanlagen gibt es aber nicht.

Es kommt nun also darauf an, den richtigen Mix zu finden. Dies bedeutet, Instandhaltungsstrategien intelligent zu

kombinieren und den Instandhaltungsaufwand zu minimieren.

Eine optimale Instandhaltungsstrategie sollte Elemente von reaktiver Instandhaltung (Ausfallbehebung), präventiver Instandhaltung, zustandsorientierter Instandhaltung und verbessernder Instandhaltung enthalten. Zustandsorientierte Instandhaltung alleine darf zwar nicht als Allheilmittel angesehen werden, sollte aber zunehmend genutzt werden. Das Ergebnis der richtigen Instandhaltungsstrategie ist die Einhaltung der geforderten Zuverlässigkeit bei minimalen Kosten.

Design for Service

Design for Service (DFS) bedeutet servicegerechte Produktgestaltung. Meist werden damit konstruktive Maßnahmen zur Vereinfachung der Instandhaltung verstanden. Wirtschaftliches Ziel dieser Maßnahmen ist die Verkürzung der mittleren Instandhaltungszeit (siehe Kap. 0).

Design for Service hat viele Facetten – sowohl in der Mechanik, im Ofenbau, in der Automatisierungstechnik als auch in der Informatik. Die nachfolgend aufgeführten Beispiele sollen auch nur einen Ausschnitt der Möglichkeiten, insbesondere aus der Automatisierungstechnik, wiedergeben.

Funktionsbezogener modularer Aufbau

Streng genommen muss die Instandhaltungsstrategie für jedes einzelne Betriebsmittel bzw. für jede einzelne Funktionsgruppe überlegt werden. Thermoanlagen sind komplexe Gebilde und nicht jede Funktionsgruppe hat den gleichen betriebsbedingten Verschleiß wie die anderen Gruppen.

Ein funktionsbezogener modularer Aufbau liegt daher auf der Hand. Dies gilt sowohl für die Mechanik als auch für die Automatisierungstechnik. Beispielsweise ermöglicht die Modulbauweise, die Be-

triebsmittel der Automatisierungstechnik im Schaltschrank nach Funktionen zu strukturieren. Bei einer vorbeugenden Instandhaltung können die Betriebsmittel dieser Funktionsgruppe einfach lokalisiert und ausgewechselt werden [8].

Darüber hinaus können durch eine Reihe teilweise standardisierbaren und daher kostengünstigen automatisierungstechnischen Maßnahmen die vorstehend beschriebenen Instandhaltungsstrategien unterstützt werden.

MMI – Die Informationsplattform für den Instandhalter

Alle Instandhaltungsstrategien bauen auf Betriebs- und Zustandsinformationen auf. Trotz der unterschiedlichen Aufgabenstellungen von Bediener und Instandhalter ist es sinnvoll, die Informationen nicht mit unterschiedlichen Systemen abzubilden, sondern die ohnehin zum Bedienen und Beobachten oder als Leitsystem vorhandenen MMI-Systeme⁴ zu nutzen [9].

Einige der naheliegenden Gründe sind:

- die einheitliche Visualisierung für alle Komponenten und Geräte
- für die Automatisierung wie für die Instandhaltung sind die gleichen Informationsquellen relevant
- die enge Verzahnung zwischen automatisierungstechnischen und Instandhaltungsfunktionen
- die Vereinfachung im Umgang mit dem System, da Anwender und Instandhalter nur ein einziges Bedien- und Beobachtungssystem beherrschen müssen
- der Kostenvorteil.

Um zu vermeiden, dass eine Informationsüberflutung für die Bediener bzw. Instandhalter entsteht, werden die entstehenden Informationen auf verschiedene Bildschirmmasken aufgeteilt.

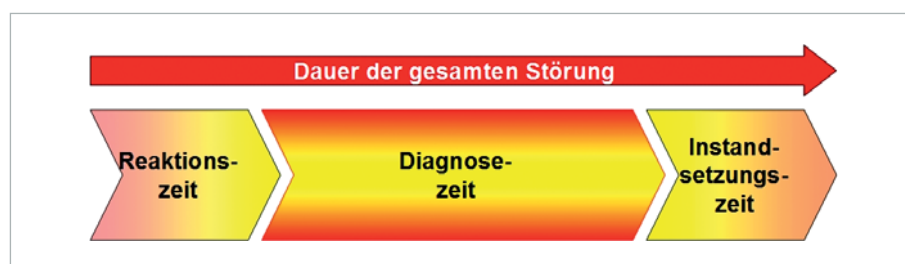


Bild 10: Zeitanteile zur Beseitigung einer Störung

Fig. 10: Time units required for elimination of a fault

Maschinendaten-Erfassung (MDE)

Maschinendaten geben Auskunft über den Einsatz einer Anlage. Typische Maschinendaten sind die Produktionsleistung, Betriebsstunden, Taktzyklen und Fördergeschwindigkeiten.

Bisher werden diese Daten aber nur von sehr wenigen Unternehmen im Kontext der Instandhaltung weiter verarbeitet. Ohne Bezug auf die Maschinendaten ist eine vorbeugende periodische Instandhaltung jedoch schlicht unsinnig.

Störungsstatistiken

Störungsstatistiken enthalten Informationen über Art, Dauer, Häufigkeit und Ursache von Störungen. Störungsstatistiken sind ein gutes Werkzeug zur Erkennung von Schwachstellen. Störungsstatistiken können auch genutzt werden, um den Informationsumfang von Betriebsmitteln oder Komponenten zu erhöhen. So kann der Umfang und der Zeitpunkt von Instandhaltungsmaßnahmen beispielsweise auch an statistischen Größen orientiert werden.

Unterstützung durch Diagnosesysteme

Ist die Anlage mit einem Diagnosesystem ausgerüstet, kann sich die Dauer der Störung verkürzen, weil die Fehlersuche entfällt oder zumindest verkürzt werden kann.

Die Zeitanteile zur Beseitigung einer Störung sind in **Bild 10** dargestellt. Es wird deutlich, dass die benötigte Zeit zur Beseitigung einer Störung zu einem wesentlichen Teil aus der Diagnosezeit besteht.

Zur Information über den Diagnosestatus einzelner Anlagenbereiche oder Komponenten kann der Instandhalter ausgehend vom Übersichtsbild jeweils in das Diagnosebild der unterlagerten Hardwareebene wechseln. Wird im Übersichtsbild eine Störung signalisiert, gelangt er schnell zum Diagnose-Baustein der betroffenen Komponente.

Produktkonfigurationen und Bedienungsanleitungen

Instandhalter sind weitgehend isoliert von den Erkenntnissen der Ingenieure, die die Produkte entwickelt haben. Schneller, effizienter und guter Service erfordert detailliertes Wissen über Produktkonfigurationen, Konstruktionen, Spezifikationen und Prozesse. Das Servicepersonal muss Zugriff auf Informationen bekommen, die üblicherweise in der Planung verschlossen sind.

Sicherung von Programmen und Einstellparametern

Wichtig für die Beurteilung des Ist-Zustandes ist die Kenntnis des Soll-Zustands. Dazu sollten nach der Erstinbetriebnahme bzw. nach einer Revision alle Einstellparameter dokumentiert und alle Programme gesichert werden.

Bei einem SPS-Ausfall sind häufig in der SPS aufgezeichneten Prozessdaten für immer verloren. Eine Speicherung und Aktualisierung dieser Programme und Parameter auf einer von Kunde und Lieferant gleichermaßen zugreifbaren Plattform löst dieses Problem.

Fernservice

Ein konsequentes Design für Teleservice geht weit über die SPS hinaus und schließt alle anderen „kommunikationsfähigen“ Betriebsmittel, wie beispielsweise Temperaturregler oder Frequenzumrichter, mit ein. Durch Berücksichtigung der Teleservice-Erfordernisse schon während der Konstruktion können spätere Nachrüstaktionen vermieden werden. Teleservicegerechtes Design sollte beispielsweise Folgendes berücksichtigen:

- ggf. zusätzliche Sensorik zur Maschinendiagnose
- eine vernetzte Kommunikationsstruktur (z.B. Profibus)
- Remote Control Funktionen
- Sicherheitsaspekte, insbesondere die Zugriffsrechte für den Fernzugriff über Telekommunikationsnetze.

Zusammenfassung

Thermoprosessanlagen sind sehr langlebige Wirtschaftsgüter. Es gibt daher eine große Population älterer Anlagen, die nicht mehr auf dem aktuellen Stand der Technik sind, die aber gut modernisiert und fit für den weiteren Einsatz gemacht werden können. Eine Modernisierung ist oft sinnvoll und in jedem Fall preisgünstiger als der Erwerb einer Neuanlage [8].

Eine Modernisierung kann sowohl in Teilbereichen, aber auch für gesamte Anlagenteile, beispielsweise eine Gasregelstrecke oder eine Schaltanlage erfolgen. Eine gründliche Zustandsaufnahme mit Hilfe der Thermografie und Endoskopie liefert wertvolle Informationen zum Zustand der Anlage und zur weiteren Planung.

Eine deutliche Verbesserung der Effektivität der Instandhaltung und der Instandhaltungskosten kann mit Hilfe von online Condition Monitoring Systemen, beispielsweise Stromüberwachungen und insbesondere Schwingungsüberwachungen erzielt werden.

Gerade bei gebrauchten älteren Anlagen liegen schon viele Erfahrungen der Bediener und Instandhalter mit anlagentypischen Schwachstellen vor. Eine konsequente Beseitigung dieser Schwachstellen kann zu geringen Kosten einen hohen Nutzen erzielen.

Design for Service ist nicht auf Neuanlagen beschränkt. Versäumnisse der Vergangenheit können im Rahmen einer Modernisierung aufgearbeitet werden.

Literatur

- [1] DIN 31051, Grundlagen der Instandhaltung
- [2] Grothus, H.: Vorbeugende Instandhaltung, <http://grothus.org/>, 2004
- [3] Kaluza, B.; Rösner, J. und Mellenthin, B.: Just-in-time Instandhaltung. Entwurf eines modernen Instandhaltungsmanagement für Industrieunternehmen. Gerhard-Mercator-Universität, 1994
- [4] Matyas, K.: Ganzheitliche Optimierung durch individuelle Instandhaltungsstrategien. *Industriemanagement* 18, Gito Verlag Wien, 2002
- [5] Nowak, R., Strietelmeier, H., Tietmeyer, P.: Zustandsorientierte Instandhaltung im Zementwerk Lengerich der Dyckerhoff AG. 56. Volume No. 12 pp 32–43, Bau Verlag, 2003
- [6] Schuh, G., Kamper, A., Franzkoch, B., Wemhöner, N.: Intelligent Maintenance – Potenziale zustandsorientierter Instandhaltung. RWTH-Aachen, 2007
- [7] Siemens AG. Druckschrift Intelligent Maintenance, Siemens AG, 2008
- [8] Steck-Winter, H.: Modernisierung der Steuerung von Thermoprosessanlagen, *Gaswärme International*, 57. Jahrgang 4-2008, S.232–236, 2008
- [9] Steck-Winter, H.; Unger, G.: Steuern, Regeln, Überwachen und Visualisieren von Ofenanlagen. In *Praxishandbuch Thermo-prozesstechnik*, S.347–349, Vulkan Verlag, 2003
- [10] WZL RWTH Aachen, VIF des VDMA, IML Fraunhofer Dortmund: Nachhaltige Instandhaltung (Studie), 2006

MSc Hartmut Steck-Winter
Aichelin Service GmbH,
Ludwigsburg

Tel. 0 71 41/6 43 71 03
E-Mail: hartmut.
steck-winter@aichelin.com





After Sales Service

Die „Schubkraft“ für Ihre Anlage



zum Beispiel durch

■ Beratung / Schulung

Unser Know How und unsere Erfahrung haben eine lange Tradition. Wir haben „ein Auge“ auf Ihre Wärmebehandlungsanlage und erkennen, worauf es ankommt.

Wir bieten Ihnen Unterstützung bei der Optimierung Ihrer Anlage oder bei der Qualifizierung Ihres Bedienungs- und Wartungspersonals.

Seminare im Haus

Mitarbeiterschulung über die Grundlagen der Wärmebehandlung und Metallurgie

Produktionsbegleitung

Optimierung des Zusammenspiels von Mensch und Maschine

■ Serviceleistungen

Sie profitieren von unserer Serviceorganisation mit unserem Servicefachmann in Ihrer Nähe zur regelmäßigen Beratung und Soforthilfe sowie unserem zentralen Spezialistenpool für besonders „harte Fälle“.

Serviceverträge mit festen Servicepauschalen und zu regelmäßigen Terminen (Serviceintervallen) oder Leistungen auf Anforderung und nach Bedarf.

Anlageninspektion

Zur Ermittlung des Anlagenzustandes und des Instandhaltungsaufwandes

Instandhaltung

Zustandsorientiert auf der Grundlage der Anlageninspektion

Nothilfe-Service

Durch schnelle Hilfe unseres Servicefachmannes in Ihrer Nähe oder durch unseren Spezialisten

Fernservice

Telefonberatung und Teleservice durch qualifizierte Fachkräfte

Vorbeugende Instandhaltung

Systematisierte Serviceleistungen in regelmäßigen Intervallen maßgeschneidert für Ihre Anlagen in enger, koordinierter Zusammenarbeit mit Ihnen

■ Ersatzteilservice

Das passende Ersatzteil zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort. Kein Hexenwerk, sondern das Ergebnis von aufeinander abgestimmten Logistikkonzepten für Ersatzteilverwaltung und Transport.

■ Umbau und Modernisierung

Sie möchten Ihre Produktion optimieren oder umstellen, Ihren Durchsatz steigern oder Ihre Energiekosten reduzieren – wir bieten Ihnen die Lösung hierfür.

Brenner-Modernisierungen

Umbauten und Reparaturen

Modernisierung der Prozessregelung

z.B. selbstoptimierende Temperaturregler. Ersatz von Gasanalysatoren durch Sauerstoff- oder Lambdasonden

Modernisierung der Anlagensteuerungen

z.B. SPS-Umrüstungen (S5 auf S7), elektronische Chargenverfolgung, Fehlerdiagnosesysteme, Visualisierungen.

und viele andere Leistungen zur Erhöhung der „Schubkraft“ Ihrer Anlage.

Energieeffiziente Wärmebehandlung

■ Unser Angebot an Sie

- Gemeinsam einen Beitrag zur Energieeinsparung und zum Klimaschutz leisten
- Optimierung Ihrer bestehenden Wärmebehandlungsanlagen
- Unterstützung bei der Planung Ihrer energieeffizienten Neuanlagen

■ Ihr Nutzen

- Kosteneinsparungen durch Minimierung Ihres Energie- und Medienverbrauches
- Reduktion Ihrer Abhängigkeit von Energiepreisschwankungen
- Nachhaltige Sicherung einer umwelt- und ressourcenschonenden Produktion



RICHELIN
Heat Treatment Systems

AICHELIN Ges.m.b.H.
A-2340 Mödling
Tel. +43 (2236) 236 46-0
marketing@aichelin.com
www.aichelin.com

AICHELIN Service GmbH
D-71636 Ludwigsburg
Tel. +49 (7141) 6437-0
service@aichelin.com
www.aichelin.com



Induction Technology

EMA INDUTECH GmbH
D-74909 Meckesheim
Tel. +49 (6226) 788-0
info@ema-indutec.de
www.ema-indutec.com

NOXMAT
Combustion Technology

NOXMAT GmbH
D-09569 Oederan
Tel. +49 (37292) 6503-0
info@noxmat.de
www.noxmat.com



SAFED
Four Electrique Delémont S.A.
CH-2800 Delémont
Tel. +41 (32) 421 44 60
contact@safed.ch
www.safed.ch

SAFED France
F-25004 Besançon Cedex
Tel. +33 (381) 48 37 00
contact@safed.fr
www.safed.fr