

Was wir vorhersagen, soll auch eintreffen!



Sensordatenanalyse am Beispiel der Werkstattfertigung //

Max Fabrizius

Einleitung

Die Analyse industrieller Sensordaten birgt in Zeiten von Industrie 4.0 großes Potential. Durch die Vernetzung von Anlagen und Prozessen entstehen riesige Datenmengen, die wertvolle Informationen zur Steuerung und Überwachung der Produktion enthalten. Diese Informationen müssen der Planungs- und Managementebene zur Verfügung gestellt werden, um zeitnah auf Veränderungen in der Produktion und am Markt zu reagieren. Heutige Automatisierungssysteme, die ebenfalls Sensordaten zur Steuerung und Überwachung der Produktionsprozesse nutzen, leiten die Daten zumeist nur in aggregierter Form an die oberen Entscheidungsebenen weiter. Der damit verbundene Informationsverlust stellt eine der größten Schwachstellen dieser Systeme dar. Eine mögliche Lösung dieser Problematik besteht in der Integration von granularen Sensordaten in eine massendatenfähige Data-Warehouse-(DWH)Umgebung. Der größte Vorteil eines DWH besteht in den vielfältigen Möglichkeiten zur Datenanalyse und den darauf aufbauenden Reportingmöglichkeiten.

Stand der Technik

In den meisten Industrieunternehmen kann die klassische, in Jahrzehnten gewachsene Automatisierungsstruktur mit der Automatisierungspyramide (Abbildung 1) beschrieben werden. Diese stellt alle technischen Komponenten dar, die sich in einer automatisierten Anlage wiederfinden, gliedert das gesamte Automatisierungssystem in Teilebenen und zeigt dabei die Hierarchie der einzelnen Ebenen zueinander auf. Die Verbindung der einzelnen Ebenen wird durch verschiedene industrietaugliche Kommunikationsverbindungen und Protokolle gelöst.

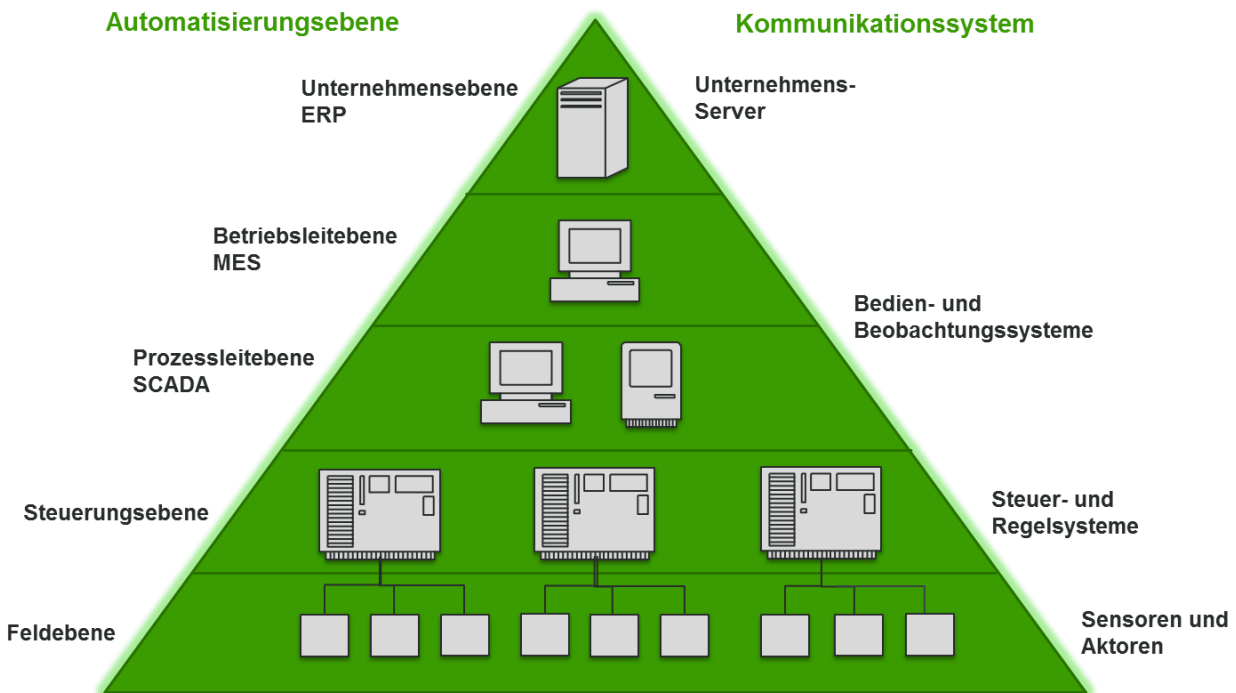


Abbildung 1: Automatisierungspyramide



Viele kleinere und mittlere Unternehmen haben nicht alle ihre produzierenden Anlagen und Maschinen über alle Ebenen der Pyramide hinweg vernetzt. Denkt man an die klassische oft verbreitete Werkstattfertigung mit ihren voneinander unabhängigen Arbeitsplätzen, so ist die Vernetzung dieser Fertigungsanlagen in der Praxis oft nur sehr schwer zu erreichen. In vielen solchen Unternehmen existieren die einzelnen Ebenen unabhängig voneinander. Manche Ebenen der Automatisierungspyramide, wie z. B. die Prozess- und Betriebsleitebene mit ihren MES und SCADA Systemen, existieren erst gar nicht.

Trotz der vorhandenen Hürden sind die Unternehmen bestrebt, ihre Lücken in den Automatisierungssystemen zu schließen und die großen Möglichkeiten, die das Sammeln und Analysieren von Sensordaten bietet zu nutzen.

Das folgende Beispiel zeigt Möglichkeiten auf, wie bereits mit heutigen Automatisierungsstrukturen Sensordaten erfolgreich für Monitoring und Analysen genutzt werden können.

Beispiel

Ein Hersteller betreibt mehrere Dreh- und Fräszentren in seiner Produktion. Auf den Anlagen werden verzahnte Teile unterschiedlicher Größen gefertigt. Je nach Auftrag und Größe des Bauteils, werden die Anlagen sowohl für die Einzelstück- wie auch für die Serienfertigung genutzt. Neben der Fertigung von verzahnten Teilen, wird auch Metallbearbeitung jeglicher Art nach spezifischen Kundenwünschen durchgeführt.

Die Bearbeitung der Rohteile erfolgt auf verschiedenen Anlagen diverser Hersteller, wie z. B. Mazak, Viper, FAT oder ACE. Die heterogene Maschinenstruktur mit ihrer proprietären Steuerungstechnik ist aufgrund von Unternehmenswachstum, unterschiedlicher Anforderungen an die Fertigungsteile und der Erneuerung von Anlagen entstanden. Es ist auch in Zukunft davon auszugehen, dass die Produktionsanlagen aufgrund ihrer Anforderungen und der Langlebigkeit stets einen uneinheitlichen Stand aufweisen werden.

Der gesamte Fertigungsprozess einer Bestellung im Unternehmen läuft wie folgt ab: Nach dem Auftragseingang des Kunden wird der Auftrag im ERP System erfasst und ein Fertigungsauftrag an die Produktion gegeben. Der verantwortliche Produktionsleiter verteilt den Auftrag anhand der vorhandenen Kapazitäten. Anschließend wird der Auftrag auf einer geeigneten Produktionsanlage gefertigt und bei Fertigstellung rückgemeldet. Am Ende wird das fertige Bauteil versandt.

In diesem Prozess treten immer wieder Schwierigkeiten auf, die den reibungslosen Ablauf stören:

- Die Vertriebsabteilung hat keinen Überblick über die aktuelle Fertigungssituation. Dadurch können keine verlässlichen Liefertermine für Kundenaufträge ermittelt werden.
- Mangelnder Überblick über Maschinenkapazitäten aufgrund falscher oder fehlender Produktionsrückmeldungen.
- Keine oder veraltete Informationen zum aktuellen Fertigungsstand.
- Auftragsverzögerungen aufgrund von Maschinenstillständen werden nur sporadisch weitergereicht.



- Fehlerhaft produzierte Teile werden mit großer Zeitverzögerung gemeldet, wodurch eine Reaktion in Form von Auftragsverlagerung auf andere Maschinen nur spät erfolgen kann. Dies führt zu Lieferverzögerungen und den damit verbundenen Reklamationen bis hin zu Konventionalstrafen.
- Die Logistikplanung ist aufgrund von Auftragsverzögerungen und mangelnder Informationen sehr aufwendig.

Eine Lösung der oben beschriebenen Problematik bietet die Erfassung und Auswertung von ERP- und Maschinendaten in einem DWH mit anschließenden Monitoring und Berichtsmöglichkeiten.

Die Auftragsdaten wie z. B. Stückzahlen, Liefertermine, Fertigungstiefen und viele anderen werden im DWH gespeichert und in Korrelation zu den Maschinendaten gebracht. Mit Maschinendaten sind einzelne Sensorwerte gemeint, die einen Rückschluss auf einen bestimmten Maschinenzustand zulassen. Solche Sensorwerte liefern z. B. indirekte Informationen über Maschinenstillstände (Spannungsabfall), Produktionsfehler (Abbruch im Fertigungsprogramm) oder auch gefertigte Stückzahlen. Darüber hinaus ist es auch möglich, den Zustand einer Anlage aufgrund der produzierten Sensorwerte zu überwachen.

Neben den genannten Bewegungsdaten, die sich von Auftrag zu Auftrag stark unterscheiden können, ist es auch wichtig Stammdaten mit einzubeziehen. Durch Stammdaten können einzelne Fertigungsanlagen identifiziert und Auftragsteile in ihrer Fertigungstiefe betrachtet werden. Darüber hinaus sind Zuordnungen zu Kunden und deren spezifischen Informationen möglich, wie z. B. ob Konventionalstrafen bei Lieferverzug verhängt werden. Auch die Anbindung an ein vorhandenes CRM-System (Customer Relationship Management) ist denkbar.

Während ERP-Daten in Unternehmen bereits seit vielen Jahren in unterschiedlichen Konstellationen, z. B. in Form von Umsatz- oder Kostenberichten für das Management, analysiert und visualisiert werden, ist die Nutzung von Sensordaten im Reporting noch mit Schwierigkeiten behaftet. Ein zentrales Problem liegt darin, die Daten aus den proprietären Steuerungssystemen der Anlagen auszulesen und diese semantisch zu beschreiben. Selbst eine kleine Produktionsanlage kann bereits Hunderte von Sensorwerten liefern. Jeder dieser Sensorwerte enthält bestimmte Informationen, die für die Steuerung der Anlage wichtig sind. Die Herausforderung liegt darin, die relevanten Werte auszusortieren und für die Analyse bereit zu stellen.

Darüber hinaus sind Steuerungen von Produktionsanlagen auf harten Echtzeitbetrieb ausgelegt. D. h. Sensoren messen bestimmte Zustände im Bereich von wenigen Millisekunden bis hin zu wenigen Mikrosekunden. Der Echtzeitbegriff bei Datenbanken für notwendige Analysen und Visualisierungen weicht davon sehr stark ab. Hier ist die Rede von wenigen Sekunden bis hin zu Minuten. Diese Divergenz des Echtzeitbegriffs muss durch geeignete Aggregationen der Sensordaten gelöst werden.

Einen möglichen Lösungsansatz liefert die Architektur in Abbildung 2. Sensorwerte werden aus verschiedenen Maschinensteuerungen mit Hilfe eines Gateways ausgelesen und voraggregiert. Bevor dies geschehen kann, müssen die relevanten Sensorwerte gemeinsam mit dem Prozessexperten identifiziert werden. Das Gateway hat den Vorteil, dass es die unterschiedlichen Kommunikationsprotokolle der verschiedenen Steuerungen versteht und einheitlich übersetzt. Anschließend werden die Sensorwerte in einer Eingangsschicht des DWH gespeichert. Bei Bedarf können bestimmte Werte in Echtzeit visualisiert werden und so z. B. Information über Maschinenstillstände oder Produktionsstückzahlen zu liefern. Um die Werte in der definierten Echtzeit verarbeiten und visualisieren zu können, müssen Streaming-Technologien eingesetzt werden, die es erlauben die hochfrequenten Daten zu verarbeiten. Der Event Stream Processor

(ESP) von SAP beispielsweise bietet in dieser Hinsicht vielfältige Möglichkeiten zur Echtzeitdatenverarbeitung und Echtzeitdatenanalyse.

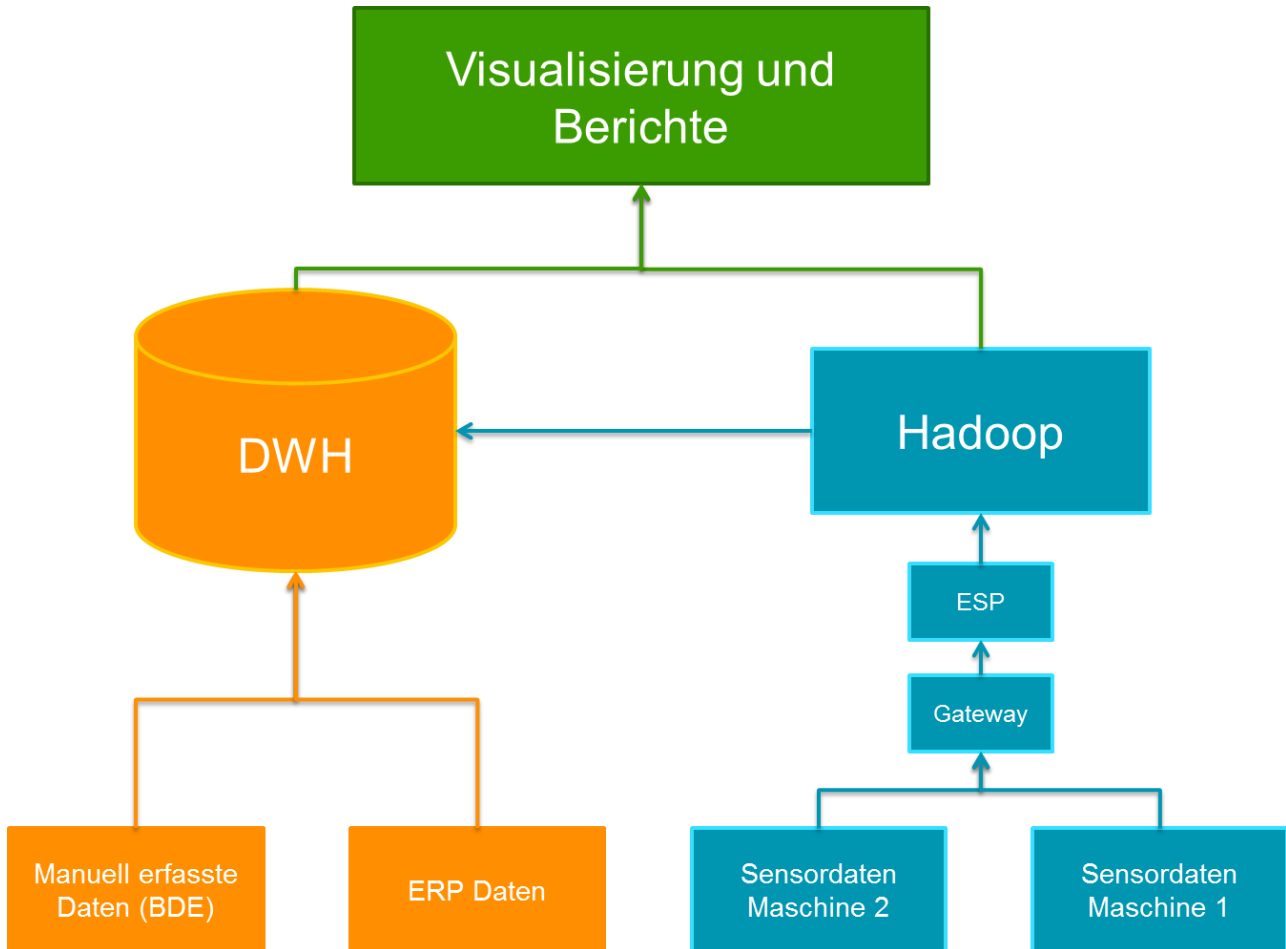


Abbildung 2: Architektur zur Analyse industrieller Sensordaten

Aufgrund der Vielzahl an Sensorwerten, die die Sensoren einer Fertigungsanlage in sehr kurzen Zeitabständen von wenigen Millisekunden liefern, entstehen sehr große Datenmengen. Daher ist es sinnvoll die Eingangsschicht für diese Daten kostengünstig und hoch skalierbar bzgl. des Speicherbedarfs ausulegen. Ein geeignetes System zur Speicherung großer Datenmengen stellt das verteilte Dateisystem “Hadoop“ dar. Der größte Vorteil von Hadoop ist der Betrieb mit kostengünstiger Hardware, die sehr guten Möglichkeiten bei der Skalierung sowie die vielfältigen Datenanalysemöglichkeiten.

Im Vergleich zu Sensordaten sind die Datenmengen eines ERP-Systems überschaubar und einfach zu verarbeiten. Vor allem aber liegen dort alle Daten bereits thematisch strukturiert vor. Sofern sie für Analysen oder Berichte relevant sind, müssen sie im Normalfall zwar trotzdem in das DWH geladen werden, was aber angesichts der vorhandenen Struktur deutlich einfacher gelingt. Beispiele für solche Daten sind z. B. Sollstückzahlen, Fertigstellungstermine, Anlageninformationen, Bauteilinformationen und Fertigungstiefen, usw.. Solche Kontextinformationen sind auch wesentlich für die Auswertung von Sensordaten.

In der Praxis ist es darüber hinaus noch weit verbreitet, dass gefertigte Stückzahlen und andere Informationen (z.B. Maschinenstillstände, Servicezeiten, Wartungsberichte) manuell außerhalb des ERP-Systems erfasst werden. Auch solche Daten lassen sich in ein DWH integrieren.

Alle beschriebenen Daten werden nun im DWH miteinander in Beziehung gebracht und über Analyse-Tools wie z. B. Tableau oder SAP Design Studio in Berichte und Dashboards überführt. Die nachfolgende Abbildung zeigt schematisch eine denkbare Visualisierung:

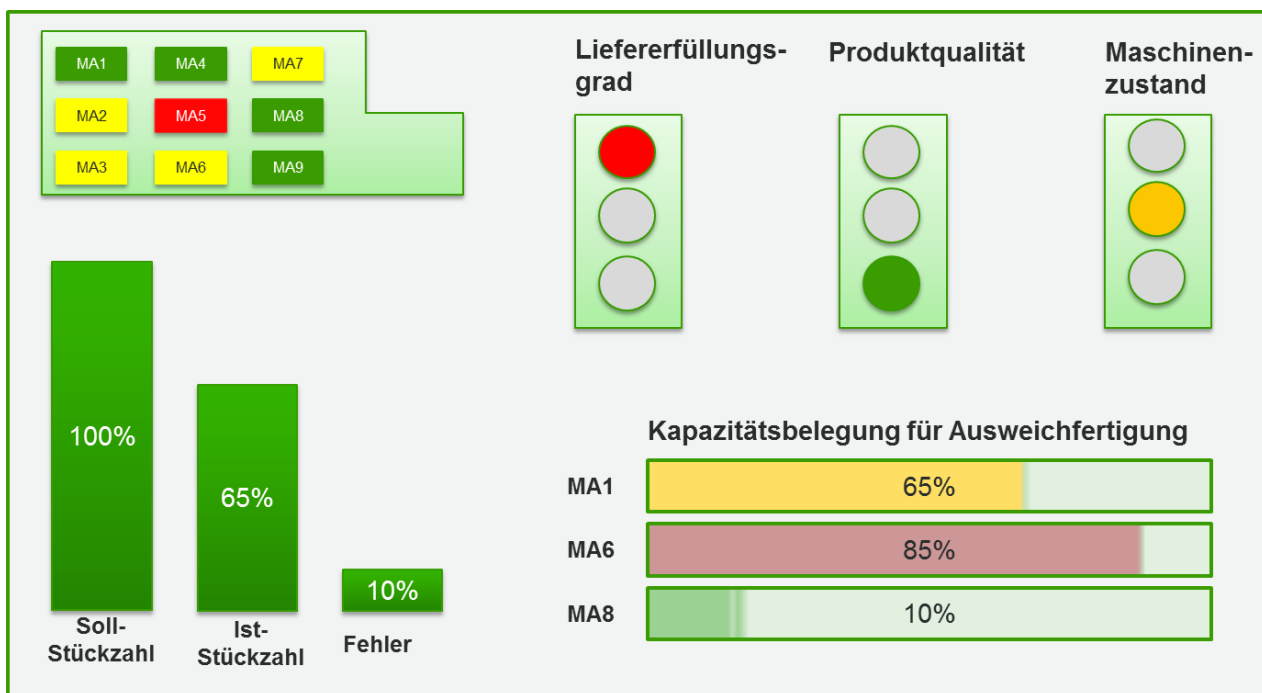


Abbildung 3: Dashboard für Maschinenüberwachung (schematisch)

Dabei können in der Berichtsebene nicht nur Informationen aus dem DWH genutzt werden, wo typischerweise nicht alle Informationen in granularer Form vorliegen. Hadoop bietet ebenfalls vielseitige Möglichkeiten, seine Detaildaten direkt bis in die Berichtsebene bereitzustellen. Außerdem eignet sich Hadoop hervorragend für statistische Auswertungen. So können z. B. „Predictive Maintenance“ oder „Predictive Quality“ Szenarien sehr gut mit Hadoop bzw. den mitgelieferten Tools abgebildet werden.

Unter „Predictive Quality“ versteht man die Erkennung von Grenzwertabweichungen von Sensorwerten, die für die Produktqualität entscheidend sind. Die Erkennung dieser Abweichungen erfolgt vor deren tatsächlichen Auftreten. Es ist also möglich anhand der Sensorwerte, die die Produktionsanlage liefert, Qualitätsabweichungen im späteren Produkt festzustellen und diese möglicherweise zu verhindern. Nimmt man das obige Beispiel, in dem z. B. Zahnräder auf einer Dreh- und Fräsmaschine gefertigt werden, so ist es möglich anhand der Sensorwerte wie z. B. Vorschubgeschwindigkeit des Werkzeuges, Drehmoment der Bauteilaufnahme oder auch der fortgeschrittenen Bearbeitungszeit zu erkennen, ob die Fertigungstoleranzen noch im Rahmen liegen.

Wie sieht eine solche Erkennung im konkreten Fall aus? Die genannten Sensorwerte werden entweder direkt aus der Steuerung ausgelesen, wenn diese eine solche Funktion zulässt, oder indirekt über die



Leistungsaufnahme der jeweiligen Antriebsmotoren bestimmt. Im Vorfeld müssen Grenzwerte festgelegt werden, die z. B. beschreiben welche Vorschubgeschwindigkeiten noch im Rahmen liegen und welche die Qualität des Drehteils beeinträchtigen. Die festen Grenzwerte werden im Event Stream Processor (ESP) festgeschrieben. Die Sensorwerte der Maschine werden in Echtzeit mit dem ESP ausgelesen und gegen die festgelegten Grenzwerte gehalten. Gleichzeitig wird das gesamte Szenario auf einem anlagenahen Bildschirm visualisiert. Tritt nun eine Abweichung in den ausgelesenen Werten gegenüber den festgelegten Grenzwerten auf, so kann der Anlagenführer sofort reagieren und die Produktion anhalten bevor schwerwiegende Beschädigungen am Fertigungsobjekt entstehen. Je nach Bauteil und Auftrag werden dadurch erhebliche Kosteneinsparungen erzielt und qualitativ minderwertige Bauteile erkannt.

Neben der Echtzeitvisualisierung werden die Sensorwerte auch in "Hadoop" abgelegt. Dadurch können diese für spätere Analysen verwendet werden um festzustellen wieso die beschriebenen Abweichungen aufgetreten sind. Somit werden auch etwaige Maschinenschäden oder Verschleißzustände frühzeitig erkannt. In diesem Zusammenhang fällt auch oft das Stichwort "Predictive Maintenance" oder auch Zustandsbasierte Wartung, was nicht dasselbe ist.

Bei "Predictive Maintenance" wird anhand von Sensorwerten und der Erfahrung aus bereits eingetretenen Defekten vorhergesagt, wann welches Maschinenteil mit welcher Wahrscheinlichkeit als nächstes zu ersetzen ist. Neben der Fähigkeit die richtigen statistischen Werkzeuge für diese Art von Sensordatenanalyse zu verwenden ist auch insbesondere das Wissen über die zu überwachenden Fertigungsprozesse von großer Bedeutung. Bevor der passende Algorithmus gefunden werden kann, der den wahrscheinlichen Defekt identifiziert, müssen die relevanten Daten aus einer Vielzahl an Sensorwerten extrahiert werden. Dies kann nur in Zusammenarbeit mit dem jeweiligen Prozessexperten erfolgen, da dieser die notwendige Erfahrung und das Wissen zu dem Fertigungsprozess mitbringt.

Condition Monitoring Systeme (CMS) - zu Deutsch Zustandsüberwachungssysteme - sind eine wichtige Voraussetzung zur vorausschauenden Instandhaltung (Predictive Maintenance). Durch den Einsatz solcher Systeme werden Ausfälle frühzeitig erkannt und lokalisiert. Oftmals wird CMS mit der Schwingungsüberwachung gleichgesetzt, was jedoch falsch ist. Schwingungsüberwachung ist nur ein Teilgebiet von CMS, zu welchem auch die Thermografie-, die Drehmoment-, die Lage-, die Schmierstoff- und die Ultraschallüberwachung gehören, um nur die Wesentlichen aufzuzählen. Bei dem Einsatz solcher Systeme wird zwischen On- und Offlineüberwachung unterschieden. Beim Online-CMS findet eine permanente Zustandsüberwachung statt. Beim Offline-CMS wird die Überwachung stichprobenartig durchgeführt. Für welche Art von Überwachung man sich entscheidet, hängt oftmals von den Sicherheitsanforderungen sowie den Kosten ab. Typisch für den Einsatz von CMS-Systemen ist die Verwendung von speziell für die Überwachung hergestellten Sensoren. Durch diese Einschränkung werden nur die Ausfälle erkannt, für die diese Sensoren auch konzipiert wurden. Das Sensorbild der restlichen Sensoren, die am Produktionsprozess beteiligt sind, wird nicht für die Analyse herangezogen.

Trotz dieser Einschränkung kann das CMS als erster Schritt in Richtung "Predictive Maintenance" gesehen werden. Die beim CMS gesammelten Sensorwerten und die Auswirkung dieser Werte auf den Zustand der gesamten Anlage oder auf einzelne Bauteile stellen erste Erfahrungswerte im Umgang mit Sensordaten und den damit verbundenen Defekten dar. Darüber hinaus bieten große Fortschritte in der drahtlosen und energieautarken Sensorik vielfältige Möglichkeiten für die Zustandsüberwachung. Sensoren können langfristig und wartungsfrei an Stellen im Fertigungsprozess eingebunden werden, wo vorher keine Prozessüberwachung möglich war. So kann z. B. ein energieautarker Schwingungssensor direkt auf dem



Drehwerkzeug angebracht werden. Der Verschleiß des Werkzeuges kann unmittelbar durch die am Werkzeug auftretenden Schwingungen und das sich verändernde Schwingungsbild, welches mit fortschreitender Werkzeugabnutzung auftritt, ermittelt werden.

Fazit

Insgesamt zeigt das aufgeführte Beispiel eine Vielzahl an Möglichkeiten im Umgang mit Sensordaten. Von der vergleichsweise einfachen Auftragsüberwachung über die Qualitätskontrolle und die zustandsbasierte Wartung bis hin zur vorausschauenden Instandhaltung sind Szenarien denkbar, die dem Unternehmen in jedem Fall einen Mehrwert an Informationen bringen. So werden z. B. Entscheidungen für eine notwendige Instandhaltung nicht mehr aus dem Bauch eines einzelnen heraus getroffen sondern auf eine fundierte Datengrundlage gestellt. Prozesse werden besser überwacht und bei Abweichung erfolgt die Reaktion unmittelbar.

Natürlich reicht es nicht, nur Sensordaten auszulesen und anschaulich darzustellen. Oftmals muss auch der gesamte Fertigungsablauf im Unternehmen unter die Lupe genommen werden. Bestehende Prozesse sollten kritisch hinterfragt und an die neuen Technologien angepasst werden. Der Umgang mit den neu entstandenen Technologien muss in der täglichen Praxis geübt werden. Das oftmals vorherrschende Denken in kleinen Fertigungsinseln und Prozessschritten muss einer vernetzten Struktur weichen.

Die Anbindung von Sensordaten hat nicht nur einen positiven Einfluss auf den unmittelbar betroffenen Prozess, sondern auf die gesamte Wertschöpfungskette des Unternehmens. Mögliche Nutzenszenarien können sein:

- ⇒ Die Fertigungsplanung kann aufgrund von verlässlich ermittelten Ausfallzeiten und abgearbeiteten Stückzahlen auf eine fundierte Basis gestellt werden.
- ⇒ Auftragsannahme sowie Materialbeschaffung werden besser koordinierbar und planbar.
- ⇒ Interne logistische Prozesse werden zentral koordiniert und können verlässlich geplant werden
- ⇒ Qualitätsrisiken der gefertigten Produkte werden frühzeitig erkannt und eine frühzeitige Reaktion zum Kunden hin ermöglicht.
- ⇒ Ausfallzeiten der Anlagen und Prozesse werden durch vorausschauende Instandhaltung minimiert.
- ⇒ Kapazitätsplanung und Auftragsverteilung innerhalb des Maschinenparks wird kurzfristig und flexibel umsetzbar.
- ⇒ Optimierungsmöglichkeiten im Prozess werden sichtbar und belegbar.



Kontaktieren Sie uns //

mayato GmbH
Am Borsigturm 9
13507 Berlin

info@mayato.com

+49 / 30 4174 4270 0