

Thermoprozessanlagen in der smarten Fabrik

von **Hartmut Steck-Winter, Günther Unger**

In der smarten Fabrik verändern sich die Grundlagen der Produktion. Die klassische Produktionshierarchie wird aufgelöst und durch sich selbst organisierende dezentrale cyber-physische Produktionssysteme abgelöst. Aus der Fertigungskette wird ein Fertigungsnetz. Smarte Werkstücke unterstützen den Produktionsprozess aktiv. Das Werkstück weiß, was es ist, wo es ist, was es werden soll und wie es gefertigt werden kann. Die Fertigung wird dadurch flexibler. Ressourceneffizienz, Smart Services und Big Data werden zu unabdingbaren Rahmenbedingungen. Die Auswirkungen auch auf Thermoprozessanlagen, geplante und bereits vorhandene, werden erheblich sein. Dieser Beitrag ist der Versuch einer Statusbestimmung für Thermoprozessanlagen auf dem Weg in die Fabrik der Zukunft.

Thermal processing plants in the smart factory

The smart factory changes the basis of production. The classical production hierarchy will be dissolved and replaced by self-organizing decentralized cyber-physical production systems. The production chain becomes a production network. Smart products actively support the production process. The workpiece knows what it is, where it is, what it is supposed to be and how it can be manufactured. This makes the production more flexible. Resource efficiency, smart services and big data become indispensable framework conditions. The future impact on thermal processing plants, planned and existing ones, will be significant. This article is an attempt to determine the status of thermal processing plants on the way to the factory of the future.

Das Thema Industrie 4.0¹, die smarte Fabrik, ist nun seit einigen Jahren in aller Munde. Es geht um nicht weniger als eine flexible und dabei hocheffiziente sich selbst organisierende Produktion, die der heutigen Produktion in allen Belangen überlegen ist. Die Diskussion, welche Anforderungen, Chancen und Risiken sich dabei für das eigene Unternehmen ergeben, ist in vollem Gange.

In diesem Fachbeitrag wird versucht, Antworten auf vier Fragen zu geben:

- Was kennzeichnet eine smarte Fabrik?
- Was sind die Schlüsselbausteine der smarten Fabrik?
- Haben SPS und PLS in der smarten Fabrik noch eine Zukunft?
- Welche besonderen Anforderungen sind für Thermoprozessanlagen zu berücksichtigen?

¹ Anstelle „Industrie 4.0“ wird auch von der „smarten Fabrik“, „Fabrik der Zukunft“ oder der „digitalen Revolution“ gesprochen. In anderen Ländern wie den USA spricht man vom „Industrial Internet“ oder allgemeiner vom „Internet of Things“.

Dieser Fachbeitrag ist eine gekürzte und aktualisierte Fassung der beiden 2015 in der gwi – gaswärme international veröffentlichten Beiträge „Thermoprozessanlagen in der Fabrik der Zukunft“ [1].

DIE VISION DER SMARTEN FABRIK

Die Vision der smarten Fabrik steht für den Einzug des Internets der Dinge und der allgegenwärtigen Internet-technologien in die Produktion und eine umfassende Digitalisierung aller Geschäftsprozesse. Die smarte Fabrik bringt einen Paradigmenwechsel in der Produktionsorganisation mit sich. Sie organisiert sich selbst. Smarte Werkstücke unterstützen die Selbstorganisation aktiv. Das Prinzip ist einfach: Jedes herzustellende Werkstück kennt seinen Zustand, es weiß, welche Arbeiten zu machen sind, bzw. welche bereits an ihm ausgeführt wurden. Jede Maschine oder Anlage kennt ihre Funktionen, ihre Auslastung und kann mit ihrer Umgebung proaktiv in Verbindung treten. Zusammen mit einer geeigneten Transportlogistik entsteht

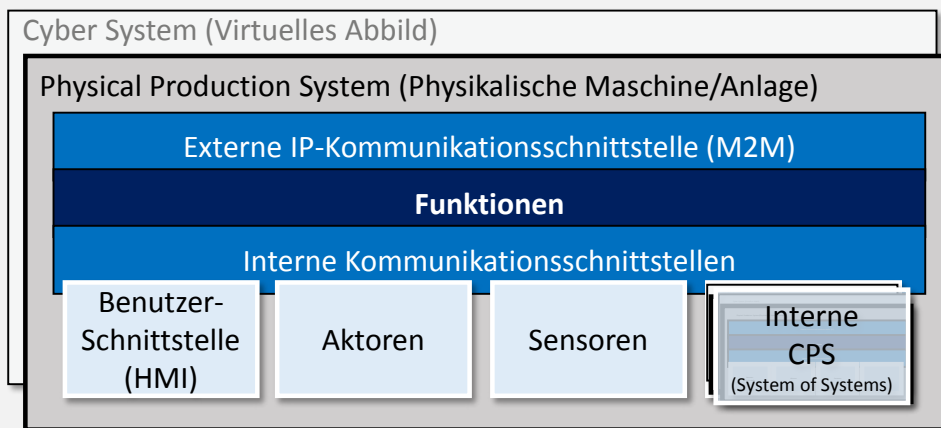


Bild 1: Aufbau eines Cyber-Physical Production Systems

eine automatische Organisation der Produktionsmöglichkeiten.

Der Mensch gibt zwar auch weiterhin den grundlegenden Produktionsplan vor, doch darin können und sollen gar nicht alle kurzfristigen Veränderungen im Voraus erfasst werden. Die Feinabstimmung erfolgt daher automatisch zwischen Produkt und Anlage. Ändern sich die Produkte, ändern sich auch die Produktionspläne und die Einstellungen der Anlagen. Produktionsaufträge in der smarten Fabrik sind individualisiert, mit kleinen Losgrößen, und haben, wenn möglich, alternative Prozesse (Multi-Channel).

SCHLÜSSELBAUSTEINE DER INDUSTRIE 4.0

Organisiert, gesteuert und überwacht wird die smarte Fabrik durch wenige Schlüsselbausteine. Im Wesentlichen sind dies Cyber-Physical Production Systems, smarte Produkte und Cloud-Computing (mit Big Data), die mithilfe des Internets der Dinge miteinander kommunizieren.

Cyber-Physical Systems

Cyber-Physical Systems (CPS) sind wahrscheinlich der auffallendste Bestandteil der Industrie 4.0. Wie in **Bild 1** dargestellt, ähnelt ein CPS in seinem grundsätzlichen Aufbau einem mechatronischen System [2]. Das gleiche Bild könnte auch eine Maschine mit einer dezentral aufgebauten SPS mit mehreren CPUs darstellen.

Ein CPS verfügt über eingebettete Systeme zur Ausführung von Funktionen, kommuniziert über Schnittstellen mit den Sensoren und Aktoren, hat eine Benutzerschnittstelle sowie IP-Kommunikationsschnittstellen.

Ein für eine Maschine vernetztes System aus mehreren CPS wird Cyber-Physical Production System (CPPS) genannt. Ein solches CPPS kann z. B. eine Thermoprozessanlage sein.

Im Cyber-System wird das systemische, informations-technische und physikalische Verhalten einer Produktionsanlage beschrieben. Typische digitalisierte Inhalte sind z. B. Kinematikdaten, Technologiedaten, Temperaturgradienten, Schrittabläufe etc. Virtuelle und physische Welt greifen ineinander und ergänzen sich gegenseitig.

Softwareagenten

Der Kern eines CPS sind seine Funktionen. Zu den klassischen Funktionen (Messen, Steuern, Regeln, Visualisieren, Dokumentieren, Auswerten

etc.) kommen „übergeordnete“ Funktionen, sogenannte Softwareagenten, hinzu. Ein Softwareagent ist eine seit Jahren bekannte Programmiermethodik der künstlichen Intelligenz, das vorgegebene Ziele verfolgt und in seinem Handlungsrahmen selbstständig agieren kann.

Um den besten Weg zur Zielerreichung zu finden, kommuniziert der Agent mit anderen Agenten. Er kann mit Optimierungsmethoden arbeiten, um die geeigneten Möglichkeiten zur Zielerreichung zu finden.

Kommunikation

Jedes CPS hat seine eigene unverwechselbare IP-Adresse. Es kann über das Internetprotokoll Daten austauschen und bearbeitet werden. CPS kommunizieren direkt mit anderen CPS, oft drahtlos. Die Maschine-Maschine-Kommunikation (M2M), bei der sich CPS per Plug and Play miteinander verbinden, ist eine der ganz großen technischen Herausforderungen. Die Hersteller von Automatisierungssystemen haben hierfür noch keine Lösung. An der M2M-Schnittstellenproblematik wird sich also voraussichtlich so schnell nichts Gravierendes ändern.

Bediensystem

Das Bediensystem eines CPS, meist Human-Machine-Interface (HMI) genannt, gleicht sich dem von Smartphones oder Tablets an. Es wird durch Spracheingabe und Gesten und durch Informationen aus dem Cyber-System unterstützt. Virtuelle und reale Welt werden verschmolzen [2].

Smarte Produkte

Damit kommen wir zum zweiten wesentlichen Bestandteil der smarten Fabrik, den smarten Produkten. Dabei muss von Anfang an unterschieden werden, dass ein Produkt

entweder ein zu fertigendes Werkstück oder ein Maschinenbauteil sein kann.

Smarte Werkstücke tragen alle erforderlichen Informationen über ihre Produktion mit sich. Smarte Maschinenbauteile haben einen Cyberzwilling, der alle wichtigen Ereignisse aufzeichnen kann [2–4]. Mit anderen Worten: Das smarte Werkstück steuert seine Produktion selbst und das smarte Maschinenbauteil hat ein digitales Gedächtnis.

Smarte Werkstücke

Als Datenträger (ID-Tag) smarterer Werkstücke kommt eine bewährte, schon seit Jahren weit verbreitete Technik zum Tragen: Bar-, Data Matrix- oder QR-Codes. Hinzugekommen sind kontaktlos les- und beschreibbare RFID-Chips. In der smarten Fabrik ist immer nachvollziehbar, wo sich ein Werkstück gerade befindet, wobei anstelle eines Werkstücks auch ein Transportbehälter gemeint sein kann. Auf diese Weise können nicht nur die erforderlichen Fertigungsschritte und -parameter vorgegeben werden, sondern bei Verwendung von RFID auch Daten am Werkstück gespeichert werden. Dies hat den Vorteil, dass keine zentrale Sicherung der Werkstückdaten notwendig ist.

Allerdings, und darauf soll an dieser Stelle schon einmal hingewiesen werden, sind RFID-Chips für eine Offenreise nicht geeignet.

Smarte Maschinenbauteile

Bei smarten werthaltigen Maschinenbauteilen liegt das Augenmerk auf dem Life Cycle Management. Dazu muss es ebenfalls mit einem ID-Tag eindeutig identifiziert und mit einem digitalen Zwilling in der Cloud ausgerüstet werden. Betriebsdaten, Reparaturen etc. können so aufgezeichnet werden. Im digitalen Zwilling entsteht eine Dokumentation, die es ermöglicht, den Lebenszyklus lückenlos zu verfolgen. Der digitale Zwilling hat also quasi die Funktion der Black Box in Flugzeugen, die alle relevanten Parameter aufzeichnet und bei Bedarf zum autorisierten Zugriff freigibt.

Wird z. B. das Maschinenbauteil zur Reparatur demontriert, nimmt es seine eindeutige Kennung mit. Alle durchgeführten Maßnahmen können im digitalen Zwilling nachgeführt und dem Servicetechniker in einer Cloud an jedem beliebigen Ort bereitgestellt werden. Ein Aspekt, der insbesondere dann an Bedeutung gewinnt, wenn das Bauteil nach einer Instandsetzung an einer anderen Maschine wieder zum Einsatz kommt.

Cloud-Computing mit Big Data

Als drittes kennzeichnendes Element der smarten Fabrik fehlt noch das Cloud-Computing mit Big Data. Beide gehen meist Hand in Hand. Nicht nur in der Industrie 4.0 hat sich Cloud-Computing zu einem der wichtigsten IT-Trends der letzten Jahre entwickelt.

Cloud-Computing (Computer Locations Outside Usual Designs) umfasst die Vermietung von dynamisch an den Bedarf angepassten IT-Infrastrukturen (Rechenkapazität, Datenspeicher oder Services), auf die über das Internet weltweit zugegriffen werden kann. Dem Angebotsspektrum sind kaum Grenzen gesetzt. Dies schließt auch eine ganze Reihe von IT-Leistungen mit ein, die sich ein „normaler Nutzer“ in der Regel nicht exklusiv leisten könnte. Einer der Vorteile ist, dass kurzfristig benötigte Ressourcen nicht zu einem kostenintensiven Ausbau der IT-Infrastruktur beim Mieter führen.

Die smarte Fabrik wird eine nie dagewesene Fülle an Daten beschieren. Die Datenmengen werden geradezu explodieren. Big Data ist natürlich kein Selbstzweck. Ziel ist es z. B. in Big Data verborgene Beziehungen zu erkennen. Es ist abzusehen, dass es mit Big Data insbesondere im Service Funktionen und Dienste geben wird, an die wir heute noch gar nicht denken. Dazu muss man, wie bereits ausgeführt, nicht Eigentümer eines Supercomputers sein.

EXKURS: DIE ZUKUNFT DER SPS UND DER LOKALEN PLS

An dieser Stelle stellt sich die Frage: Haben SPS und lokale Prozessleitsysteme (PLS) im Umfeld der smarten Fabrik noch eine Zukunft? Werden sie durch CPS und Cloud ersetzt?

Automatisierungstechnische Aufgaben sind, wie linksseitig in **Bild 2** dargestellt, traditionell hierarchisch aufgebaut [5]. An der Spitze der Automatisierungspyramide steht die Unternehmensleitebene (ERP und MES), darunter die Prozessleitebene (PLS bzw. SCADA) und die Steuerungsebene mit SPS oder IPC und anderen spezialisierten Automatisierungssystemen. In der Regel ist auf der Steuerungsebene auch noch eine Mischung verschiedenster Automatisierungssysteme, wie z. B. Frequenzumrichter oder Temperaturregler unterschiedlicher Hersteller, anzutreffen. Unterhalb der Automatisierungssysteme durchzieht dann die Feldebene mit den Sensoren und Aktoren netzwerkartig die jeweilige Maschine bzw. Anlage.

SPS als Herzstücke der Automatisierungstechnik haben ein sicheres, stabiles Betriebssystem und ermöglichen eine direkte, insbesondere echtzeitfähige Verknüpfung von Ein- und Ausgangssignalen. Steuerungssoftware sowie Mensch-Maschine-Schnittstellen (HMI) werden individuell für eine Anlage programmiert.

Die Datenverarbeitung und das Datalogging, für die keine Echtzeitfähigkeit notwendig ist, werden oft auf die Prozessleitebene ausgelagert. Steuerungsebene und Prozessleitebene gehen dann ohne sichtbare Trennlinie ineinander über. Die Alternative bzw. häufig auch Ergänzung zur klassischen SPS basierend auf Industrie-PCs (IPC) hat nicht zuletzt aus diesen Gründen an Boden gewonnen.

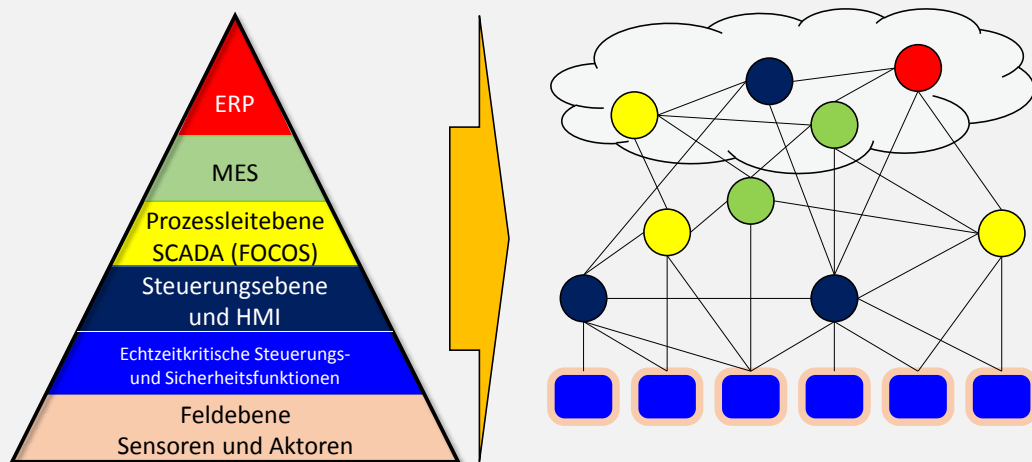


Bild 2: Von der Automatisierungspyramide zur Netzwerk-Automatisierung

Die Maschine-zu-Maschine-Kommunikation (M2M) und Benutzerschnittstellen (HMI) sind fest auf die Automatisierungsstruktur zugeschnitten. Auf der horizontalen Ebene kommunizieren die Automatisierungssysteme mit anderen Automatisierungssystemen, die ebenfalls spezifisch für die Applikation konfiguriert, parametrisiert oder programmiert werden. Die vertikale Kommunikation erfolgt meist nur mit der direkt darüber oder direkt darunter liegenden Ebene.

CPS mit den Softwareagenten und Cloud-Computing stürzen die klassische Automatisierungspyramide um. Hierarchische Architekturen lösen sich, wie rechtsseitig in Bild 2 dargestellt, in ein ortsübergreifendes Netzwerk auf [5]. Prinzipiell können alle Ebenen durch vernetzte, dezentral organisierte, selbstorganisierende Dienste abgelöst werden. Die Pyramide wird also zum Netzwerk ohne Hierarchie, ggf. mit einem direkten Kommunikationskanal von der Feldebene bis zur Cloud.

In einem solchen Netzwerk könnte z. B. das Eingangssignal eines smarten Sensors auf der Feldebene von jedem beliebigen CPS im Netzwerk empfangen und verarbeitet werden. Genauso könnte jedes CPS einen beliebigen smarten Aktor ansteuern. Mit anderen Worten: Eine CPS-Funktion ist prinzipiell ortsunabhängig. Softwareagenten könnten auf einer beliebigen Automatisierungskomponente ausgeführt werden.

Fehlersicherheit und Stabilität

Aus Sicherheits- und aus Stabilitätsgründen wird es Einschränkungen geben müssen. Auch in einem CPS bzw. CPPS können die Anforderungen an die Fehlersicherheit nicht geringer sein, sondern eher das Gegenteil. D.h. bewährte Sicherheitsprinzipien, z. B. Redundanz oder Fail Safe, werden auch zukünftig beachtet werden müssen [6].

Traditionelle Sicherheitstechnik, z. B. ein Not-Halt-Taster, wird aber durch Sensoren, die Gefahrensituationen sicher erkennen können, ersetzt werden. Dann können auch Tablets (ohne Not-Halt-Taster) zur Bedienung verwendet werden.

Bei Thermoprozessanlagen kommt es aufgrund ihrer im Vergleich zur IT sehr langen Lebensdauer auf Stabilität bzw. auf die Langlebigkeit des Automatisierungssystems an. Es muss auch zukünftig möglich sein, ein Automatisierungssystem über

sehr lange Zeit ohne von außen aufgezwungene Veränderungen, z. B. Updates, betreiben zu können. Gerade der Gegensatz zwischen einem stabilen SPS-Betriebssystem und sich ständig verändernden IT-Betriebssystemen spricht sehr zugunsten der SPS-Betriebssysteme.

Haben SPS und lokale PLS noch eine Zukunft?

Vor diesem Hintergrund ist also die Frage „Haben die klassische SPS und lokale PLS in der smarten Fabrik eine Zukunft?“ durchaus berechtigt.

Die Antwort ist für beide ein klares Ja. Die gute alte SPS und PLS sind nicht tot, sie können beide ein CPS in einem CPPS sein. Zum Stand heute ist es jedenfalls keinesfalls ausgemacht, dass SPS und lokale PLS in der smarten Fabrik ihre herausragende Stellung verlieren.

Prüfsteine für die Automatisierungstechnik sind die Echtzeitfähigkeit, die Sicherheit (Safety and Security) und natürlich die einfache individuelle Programmierbarkeit der Applikation. Diese Eigenschaften werden auch zukünftig benötigt. Für diese Sichtweise auf eine SPS als Herzstück eines CPS muss aber die Funktionalität der SPS noch erweitert werden. Insbesondere sind neben den Schnittstellen auch die virtuelle Abbildung der Maschine und die Fähigkeit zur Selbstorganisation zu adaptieren.

Definitiv verändern werden sich fest installierte Bedienterminals hin zu mobilen Tablets mit intelligenten Bedienoberflächen. Dieser Umbruch ist aber schon längst in Gange.

Wird das lokale PLS durch die Cloud ersetzt? Lokale PLS finden dort ihre Einsatzgrenzen, wo aus vielen unstrukturierten Daten bisher unbekannte Ereignismuster und Zusammenhänge mit typischerweise Cloud-basierenden Mustererkennungs- oder Data-Mining-Programmen auf-

gedeckt werden sollen und insbesondere auch dann, wenn Daten über mehrere Prozesse und Anlagen hinweg ausgewertet werden müssen.

Die Antwort auf die Frage „Cloud oder PLS?“ ist aber nicht ein Entweder-Oder, sondern ein Sowohl-als-Auch. Data Mining oder eine Text- und Bildanalyse sind in einer Cloud besser aufgehoben, es macht aber wenig Sinn, vergleichsweise einfache Trendanalysen oder Fehlerstatistiken in die Cloud zu verlagern.

SMARTE THERMOPROZESS-ANLAGEN

Nicht zuletzt stellt sich nun die Frage, welche Auswirkungen eine smarte Fabrik bzw. ihre Schlüsselbausteine auf Thermoanlagen und ihren Service haben werden. Sind Thermoanlagen smart genug?

Thermoanlagen, wie z. B. in **Bild 3** dargestellt, verwenden die übliche Technik des Maschinen- und Anlagenbaus, die auch zukünftig die Basis ihrer Automatisierungstechnik sein wird.

Es geht also vorrangig um Thermoanlagen-spezifische Besonderheiten. Im Fokus stehen dabei die Fähigkeit zur Selbstorganisation, kleinere Losgrößen, Nachverfolgung und Dokumentation (Track and Trace) sowie die Maschine-Maschine- und Mensch-Maschine-Kommunikation.

Selbstorganisation und Simulation der Wärmebehandlung

Das Cyber-System einer Thermoanlage muss mit dem für die Produktionsorganisation zuständigen Softwareagenten der smarten Fabrik eine möglichst optimale Anlagenauslastung mit den geringsten Umstellverlusten aushandeln. Die Wärmebehandlungsreihenfolge wird im virtuellen Modell optimiert. Sobald die Produktion dann anläuft, geschieht dies unter Idealbedingungen.

Visionär ist dies nicht mehr. Schon heute kann eine moderne Thermoanlage einem Leitrechner die von der Belegung abhängigen Durchlauf- und Umstellzeiten mitteilen, damit dieser die optimale Produktionsreihenfolge festlegen kann.

Vielleicht haben Thermoanlagen in ihren virtuellen Möglichkeiten sogar die Nase vorn. Simulationsprogramme sind in der Wärmebehandlung seit Jahren Stand der Technik, z. B. für die Kohlenstoff-Diffusionsberechnung oder für die Anlasstemperaturberechnung beim Vergüten von Befestigungsteilen.



Bild 3: Mehrzweck-Kammerofenanlage

Produktionsflexibilität

Die inhärente Inflexibilität großer Durchlaufanlagen steht zunächst im Gegensatz zur Produktvariantenflexibilität bis hin zur Losgröße 1 (One Piece Flow). Die Frage ist allerdings, inwieweit diese Anforderung auf die Wärmebehandlung durchschlägt. Die kundenindividuelle Variantenvielfalt findet vielmehr im für den Endkunden sichtbaren Bereich statt. In der Produktion dominieren aus Kostengründen die Plattformstrategien mit großen Mengen gleicher Bauteile.

Die Erfahrung zeigt – die Diskussion ist ja nicht neu –, dass die letzte Stunde der klassischen Durchlauf-Thermoanlagen noch lange nicht geschlagen hat. In der effizienzoptimierten smarten Fabrik gilt eher das Gegenteil.

Los- und Rezeptwechsel

Dies bedeutet allerdings nicht, dass Flexibilität für Thermoanlagen kein Thema ist. Bei einem Loswechsel² (anderes Werkstücklos, aber gleiche Wärmebehandlungsparameter) muss in Durchlaufanlagen je nach Transportsystem eine Chargentrennlücke gefahren werden, um Teilvermischungen zu verhindern. Je nach Transportsystem und Transportbehälterwechselzeiten sind Chargentrennlücken unterschiedlich lang. Chargentrennlücken werden wie die Werkstücke innerhalb einer Thermoanlage elektronisch verfolgt und gesteuert.

² Ein Fertigungslos ist eine Menge von identischen Teilen, die zusammen hergestellt werden.



Bild 4: Traditionelles Bediensystem mit Visualisierung

Rezeptwechsel³ sind meist mit langen Umstellzeiten verbunden, d. h. Thermoprozessanlagen sind diesbezüglich in ihrer Flexibilität eingeschränkt. Jeder Rezeptwechsel erfordert vorberechnete Chargenlücken (Produktionslücken), in denen z. B. eine Temperaturumstellung erfolgt. Losgröße 1 ist dann zwar möglich, aber wegen der nicht genutzten Produktionskapazität unwirtschaftlich.

Die Umstellung der Wärmebehandlungsparameter wird in Durchlaufanlagen in Abhängigkeit von der elektronischen Chargenverfolgung automatisch durchgeführt. Dazu benötigt die Anlage ein virtuelles Abbild der wesentlichen Parameter, z. B. Temperaturgradienten, Zonenzuordnungen, Meldungsortzuordnungen etc. (vgl. Absatz Cyber-System). Solche automatischen Los- und Rezeptwechsel sind schon lange Stand der Technik.

Werkstückpositionsverfolgung (Track & Trace)

Materialtransportbehälter mit maschinenlesbaren Informationsträgern können den hohen Temperaturen in einer Thermoprozessanlage nicht standhalten, d. h. die zu wärmebehandelnden Werkstücke müssen entweder direkt auf das Ofentransportsystem oder auf spezielle hitzebeständige Transportgestelle umgeladen werden. Werkstücke und begleitende Informationsträger werden an dieser Stelle voneinander getrennt. Nach der Wärmebehandlung wer-

den die Werkstücke wieder in, für die weitere Transportlogistik besser geeignete Materialtransportbehälter mit maschinenlesbaren Informationsträgern umgeladen.

Innerhalb der Wärmebehandlungsanlage werden die (meist in Chargen zusammengefassten) Materialströme elektronisch verfolgt. Dies wird sich auch in einer smarten Fabrik nicht vermeiden lassen. Die elektronische Chargenverfolgung hat sich aber schon seit einigen Jahrzehnten bewährt und muss nicht in Frage gestellt werden.

Werden die Werkstücke zudem mit einem „eingravierten“ Data Matrix Code bezeichnet, kann im Zusammenwirken mit dem Wärmebehandlungsnachweis jedes einzelne Werkstück auch noch lange, nachdem das Werkstück die Fabrik verlassen hat, nachverfolgt werden.

Wärmebehandlungsnachweis

Produkthaftung und Zertifizierungen setzen eine quantifizierte Dokumentation von signifikanten Prozessparametern voraus. Auch

bei der Wärmebehandlung, die man einem Werkstück nicht ohne weiteres ansieht, ist die Konformität mit den Behandlungsvorschriften zu wahren und deren Einhaltung lückenlos zu dokumentieren. Beim Thermoprozess hat sich hierfür die Bezeichnung „Wärmebehandlungsnachweis“ eingebürgert. Dabei entstehen große Datenmengen, die in den SPS nicht mehr wirtschaftlich gespeichert, verarbeitet bzw. ausgewertet werden können. Daher werden diese an übergeordnete PLS, z. B. FOCOS 4.0, ausgelagert. Eine Speicherung der verdichteten Daten in einer Cloud ist auch möglich.

Zukünftig wird es vermehrt darum gehen, diese Daten darüber hinaus noch weiter zu verwerten, z. B. um Zusammenhänge mit anderen Ereignissen zu analysieren.

Mensch-Maschine-Kommunikation

Für die interaktive Kommunikation zwischen Mensch und Maschine (HMI) steht auch schon heutzutage eine ganze Reihe von Systemen zur Verfügung (**Bild 4**). Ergänzende mobile Bedienmöglichkeiten sind Stand der Technik. Insbesondere für den Service sind Tablets wie geschaffen.

Informationsangebote auf Tablets sind bei neuen Aichelin-Anlagen schon seit einigen Jahren vorhanden. Der Augmented Operator ist in Teilbereichen längst möglich. Beispielsweise kann das „virtuelle Produktgedächtnis“ von wichtigen Sensoren wie Thermoelementen und Sauerstoffsonden, insbesondere deren Kalibrierdaten und Offsets, über eine WLAN-Verbindung auf Tablets übertragen

³ Der gesamte Parametersatz (Sollwerte) für die Wärmebehandlung eines spezifischen Werkstücks wird als Rezeptur bezeichnet. Typische Rezeptparameter sind Chargenvorgaben, Temperatursollwerte, Durchlaufzeiten und C-Pegelsollwerte.

werden. Der Instandhaltung stehen damit direkt am Einbauort alle notwendigen Informationen und Hilfen zur Verfügung.

Darüber hinausgehend können z. B. auch die Schaltpläne, die Bedienungsanleitung oder Ersatzteillisten abgerufen werden. Diese stehen nämlich nur selten an der Anlage zur Verfügung.

SMART SERVICES FÜR THERMOPROZESS-ANLAGEN

Produkt und Service werden zu Smart Services kombiniert und durch digitale Dienstleistungen, intelligente Assistenzsysteme und semantische Technologien unterstützt. Nicht wenige Experten meinen, dass künftig Daten ebenso wichtig wie das physische Produkt und der traditionelle Service sind. Sie bieten ein enormes Potenzial und zahlreiche Möglichkeiten für neue Smart Services. Es wird nun darauf ankommen, die Möglichkeiten zu nutzen und auch eigene Erfahrungen zu sammeln. Datenanalyse wird über kurz oder lang zu einer neuen Disziplin im Service.

Digitale Serviceportale

Führende Serviceanbieter werden ihre schon teilweise digitalisierten Teildisziplinen Zustandserfassung, Ersatzteilbedarfplanung und Wartungsplanung ohne Systembrüche in ein Serviceportal integrieren. Digitale Strukturstücklisten sind die Basis. Sie enthalten in einer hierarchischen Struktur alle (wichtigen) Baugruppen und Bauteile. Für jede Baugruppe bzw. jedes Bauteil gibt es eine spezifische Instandhaltungsstrategie, eine Ersatzteilbedarfplanung und einen Serviceplan.

Digitalisierte Ersatzteilbedarfplanung im Ersatzteilstore

Im Ersatzteilstore des Serviceportals (**Bild 5**) erhält der Anlagenbetreiber alle Ersatzteilinformationen direkt auf sein Cockpit. Mit Zoomfunktionen und Filtern werden die Baugruppen in ihre Bauteile aufgelöst. Ersatzteilbedarfe werden automatisch berechnet. Dabei werden die Ausfallwahrscheinlichkeit und die Anzahl identischer



Bild 5: Ersatzteilplanung im Aichelin Service Portal

Bauteile berücksichtigt. Aktuelle Verfügbarkeit, Preise und Bestellstatus der Ersatzteile sind mit einem Klick abrufbar. Eine hocheffiziente Logistik sorgt dafür, dass die im Store ausgewählten Ersatzteile schnell zum Kunden gelangen. Traditionelle Ersatzteillogistik und Online Services gehen eine Symbiose ein.

Serviceportale bieten schon heute eine weitaus größere Funktionalität als Ersatzteillisten oder elektronische Ersatzteilkataloge. Digitale Assistenten helfen bei der Ersatzteilbedarfplanung und ermöglichen, das volle Potenzial eines effizienten Ersatzteilmanagements auszuschöpfen.

In nicht allzu ferner Zukunft können sowohl aktuelle Betriebsdauern, Zustandsinformationen als auch Vergangenheitserfahrungen in die Ersatzteilbedarfsprognose mit einbezogen werden. Durch die direkte Vernetzung mit den Anlagen mit der digitalisierten Zustandserfassung berechnet der digitale Assistent im Ersatzteilstore automatisch den Bedarf und stellt Bestellvorschläge genau dann, wenn sie benötigt werden, in einem Warenkorb zusammen. Das Serviceportal ist somit quasi ein weiterer Akteur in der smarten Fabrik. „Maschinen planen ihren Ersatzteilbedarf selbst“ ist dann nicht mehr bloße Utopie [7].

Digitalisierte Zustandserfassung

Der nächste, schon fast zwangsläufige Schritt ist die umfassende Digitalisierung der Zustandserfassung. Die Zustandsüberwachung wichtiger bzw. werthaltiger Bauteile in der smarten Fabrik ist datengetrieben. Damit sind nicht nur Condition-Monitoring-Sensoren gemeint.

Treiber ist die Vision von einer nahezu aufwandslosen Zustandsüberwachung, als Nebenprodukt der Sensoren und Aktoren der Automatisierungstechnik. Es geht um die Frage, ob bzw. mit welchen vorhandenen Sensoren der Abnutzungszustand von Bauteilen und deren Einflussfaktoren kontinuierlich erfasst und mit Prozessdatenvalidierung und Control Performance Monitoring ausgewertet werden können.

Ziele sind u. a. die Zustandserfassung von Inspektionen weniger abhängig zu machen, dem Betreiber jederzeit eine aktuelle Zustandsinformation der wichtigsten Bauteile zur Verfügung zu stellen (vgl. digitaler Zwilling) und damit den Weg für eine vorausschauende Instandhaltung zu ebnen.

Vorausschauende Instandhaltung

Die zustandsabhängige Instandhaltung hat nämlich einen riesigen Nachteil. Sie ist auf die wenigen Bauteile beschränkt, bei denen sich Zustandsveränderungen überhaupt inspizieren oder mit Condition-Monitoring-Sensoren erkennen lassen. Das sind leider die wenigsten [8]. Eine vorausschauende Instandhaltung im Zusammenwirken mit einer digitalisierten Zustandserfassung kann nahezu alle präventiv instandgehaltenen Bauteile einbeziehen.

Für Thermoprozessanlagen wird die Anwendung der vorausschauenden Instandhaltung noch etwas Zeit benötigen. Dies hängt mit den ofenspezifischen Bauteilen zusammen, deren Lebensdauern bisher nur wenig erforscht sind, auch weil deren Einsatzbedingungen so unterschiedlich sind und daher die systematische Erfassung sehr schwierig ist. Ein guter Grund jetzt trotzdem damit anzufangen.

Digitale Zwillings Cockpit für das Bauteil Life Cycle Management

Der digitale Zwilling steht für das „C“ im CPS eines smarten Bauteils. Die physikalische Komponente (Bauteil) ist der eine Zwilling, sein Cyberobjekt der andere. Die Verbindung eines digitalen mit seinem physischen Zwilling kann durchaus einfach sein: Beispielsweise reicht ein Data Matrix Code am Bauteil, um eine Verbindung zwischen der realen und der virtuellen Welt zu schaffen. Bei nicht demontierbaren Bauteilen braucht man diesen Link nicht.

Der digitale Zwilling ist die Plattform, die Auskunft über den vergangenen, aktuellen und prognostizierten Zustand eines Bauteils gibt, und ein Life-Cycle-Management auf Bauteilebene ermöglicht.

Topthema Sicherheit

Neben der Betriebssicherheit (Safety), die gewährleistet, dass Produktionssysteme keine Gefahr für Menschen und Umwelt darstellen, gewinnt die IT-Angriffssicherheit (Security) in der smarten Fabrik mit dem Internet der Dinge enorm an Bedeutung.

Um die Sicherheit (Safety und Security) zu gewährleisten, müssen Anlagen, Produkte, Daten und Know-how verlässlich vor unbefugtem Zugriff und Missbrauch geschützt werden [3]. Hersteller und Betreiber benötigen die Gewähr, dass ihr Know-how, ihr geistiges Eigentum und ihre Daten geschützt sind. Es genügt also nicht, nachträglich Safety- oder Security-Funktionen zu ergänzen, wenn es schon Sicherheitsvorfälle gab. Das Thema muss von Anfang an mitgedacht werden [6].

Die Daten-, Informations- und Kommunikationssicherheit sind kritische Erfolgsfaktoren. Die Betreiber werden nur dann über das Internet den Zugang zu ihren Fabriken öffnen, wenn sie verlässliche und belastbare Sicherheitslösungen bekommen.

FAZIT

Industrie 4.0 bzw. die smarte Fabrik steht für den Einzug des Internets und der Internettechnologien in die Produktion und eine umfassende Digitalisierung aller Geschäftsprozesse. Innovationstreiber sind zwei aufeinander zulaufende Technologieentwicklungen: Das Internet der Dinge und das Internet der Dienste und Daten. Industrie 4.0 ist also viel mehr als nur eine Neuauflage des gescheiterten Computer Integrated Manufacturing (CIM) aus den 1980er Jahren.

Die smarte Fabrik bringt einen Wandel im Verständnis der industriellen Organisation mit sich. Die hierarchische Organisation wird in ein ortsübergreifendes Netz aufgelöst. Anlagen, Transportmittel, Produkte, digitalisierte Werkzeuge und Menschen kommunizieren über das Internet.

In einer smarten Fabrik geht es um nicht weniger als um eine flexible und dabei hocheffiziente, sich selbst organisierende Produktion, die der heutigen Produktion in allen Belangen überlegen ist. Ein Schlüsselement sind Cyber-Physical Systems (CPS), die aus Automatisierungssystemen, Sensoren und Aktoren, sowie aus einer hierarchielosen Kommunikationsinfrastruktur bestehen.

Das intelligente Werkstück steuert den Herstellungsprozess. Selbstorganisation, Autonomie, kleine Losgrößen, hohe Flexibilität und Transparenz (Track and Trace) sind die Zielgrößen.

Betreiber und Service werden durch digitale Dienstleistungen, intelligente Assistenzsysteme und semantische Technologien unterstützt. Begleiter sind Cloud-Computing und Big Data.

Es gibt viel zu tun, einiges ist aber auch schon auf den Weg gebracht. Jetzt müssen die Weichen gestellt werden. Wir entwickeln oder beschaffen heute die Anlagen mit

einer Einsatzdauer bis mindestens 2035. Für den Altanlagenbestand müssen Retrofits entwickelt werden. Dabei wird es wichtig sein, nicht gleich die Hundert-Prozent-Lösung anzustreben, sondern sich überhaupt auf den Weg zu machen und schrittweise das, was jetzt einen Nutzen hat, zu realisieren.

Die Gefahr, dass Industrie 4.0 die Erwartungen nicht ganz erfüllen kann, ist nicht ganz von der Hand zu weisen. Die Fähigkeit zur Selbstorganisation und besonders die IT-Sicherheit werden die Prüfsteine sein.

LITERATUR

- [1] Steck-Winter, H.; Unger, G.: Thermoprozessanlagen in der Fabrik der Zukunft – Teil 1 und Teil 2. *gwi – gaswärme international* 2 (2015), S. 39-44, und 3 (2015), S. 73–81
- [2] Lucke, D.; Görzig, D.; Kacir, M.; Volkmann, J.; Haist, C.; Sachsenmaier, M.; Rentschler, H.: Strukturstudie: Industrie 4.0 für Baden-Württemberg. Fraunhofer- Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart, 2014
- [3] Plattform Industrie 4.0: <http://www.plattform-i40.de/>
- [4] Spath, D.; Ganschar, O.; Gerlach, S.; Hämmerle, M.; Krause, T.; Schlund, S.: Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0; Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation, Stuttgart, 2013
- [5] VDI: *Cyber-Physical Systems: Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation*, 2013
- [6] Steck-Winter, H.: Sichere Thermoprozessanlagen 2.0. *gwi – gaswärme international* 5 (2012), S. 74–80
- [7] Steck-Winter, H.; Stoelting, C.: Ersatzteilbedarfsplanung für Thermoprozessanlagen. *gwi – gaswärme international* 3 (2016), S. 55–65
- [8] Steck-Winter, H.: Vorausschauende Instandhaltung von Thermoprozessanlagen. *gwi – gaswärme international* 3 (2011), S. 141–152

AUTOREN



Dr. **Hartmut Steck-Winter**, MBA
Vormals Aichelin Service GmbH
Ludwigsburg
Tel.: 0176 / 9787-3726
steck-winter@gmx.de



Ing. **Günther Unger**
Aichelin GmbH
Mödling, Österreich
Tel. +43 (0)2236 / 23646-275
guenther.unger@aichelin.com