

gwi

gaswärme
international

Zeitschrift für gasbeheizte Thermoprozesse

SCHWERPUNKT

Thermoprosesstechnik

ISSN 0020-9384

www.gaswaerme-online.de

Sonderdruck

 Vulkan-Verlag

AICHELIN
Heat Treatment Systems

Thermoprossanlagen in der Fabrik der Zukunft

von Hartmut Steck-Winter,
Günther Unger

www.aichelin.com

Bericht erschienen in der gwi gaswärme international 2 und 3/2015

Vulkan-Verlag GmbH, Essen (Germany)

Editor: Dipl.-Ing. Stephan Schalm, Tel. +49 201 82002-12, E-Mail: s.schalm@vulkan-verlag.de

Thermoprozessanlagen in der Fabrik der Zukunft – Teil 1

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

Mit dem Internet der Dinge bzw. der Industrie 4.0¹ verändern sich die Grundlagen der Produktion. In der Fabrik der Zukunft wird die klassische Produktionshierarchie aufgelöst und durch sich selbst organisierende dezentrale cyber-physische Produktionssysteme abgelöst. Selbst wenn Industrie 4.0 momentan mehr Vision als Realität ist, werden die Auswirkungen auch auf Thermoprozessanlagen erheblich sein. Dieser Beitrag ist der Versuch einer Statusbestimmung für Thermoprozessanlagen auf dem Weg in die Fabrik der Zukunft. Teil 1 widmet sich allgemeinen Fragen. Teil 2 beschreibt konkrete Anwendungen und erscheint in gwi 3.

Thermoprocessing technologies in the plant of the future – part 1

The internet of things (respectively industry 4.0) changes the basics of production. In the factory of the future, the classical production hierarchy will be dissolved and replaced by self-organizing decentralized cyber-physical production systems. Smart products actively support the production process. Even if the smart factory is currently more vision than reality, the future impact on thermal processing plants, planned and existing, will be significant. This article in two parts is an attempt to determine the status of thermal processing plants on the way to the factory of the future. The first part is about general issues. The second part will be published in gwi 3.

Industrie 4.0, die Fabrik der Zukunft, ist in aller Munde. Politik, Wissenschaft, Industrie und Medien ziehen unisono an einem Strang. Keine Fachzeitschrift und keine Zukunftskonferenz, die sich nicht mit diesem Thema beschäftigt (**Bild 1**). Alle sagen: Unsere Industrie steht wieder an der Schwelle eines Umbruchs. Produkte und Maschinen sollen zukünftig selbstständig Informationen austauschen. Der industrielle Prozess soll nicht mehr zentral aus der Planung heraus organisiert werden, sondern soll sich dezentral und dynamisch selbst steuern [1]. Innovationstreiber sind zwei aufeinander zulaufende Technologieentwicklungen: Das Internet der Dinge und das Internet der Dienste und Daten.

Vorläufer CIM

Industrie 4.0 ist keine völlig neue Entwicklung. Auch das Computer Integrated Manufacturing (CIM) verfolgte in den

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



Bild 1: Begriffe und Themen des Fachbeitrags

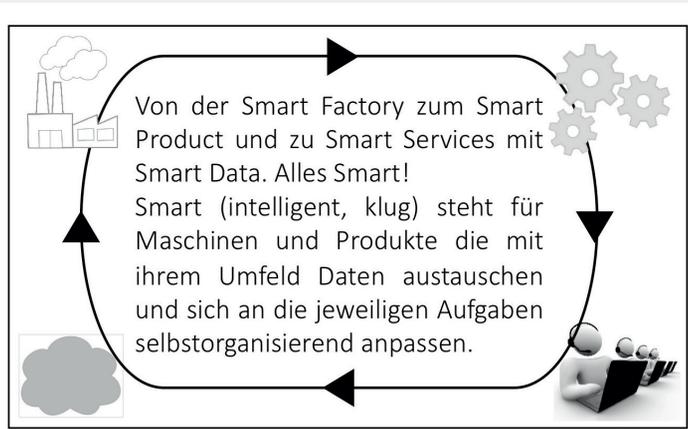


Bild 2: Alles Smart

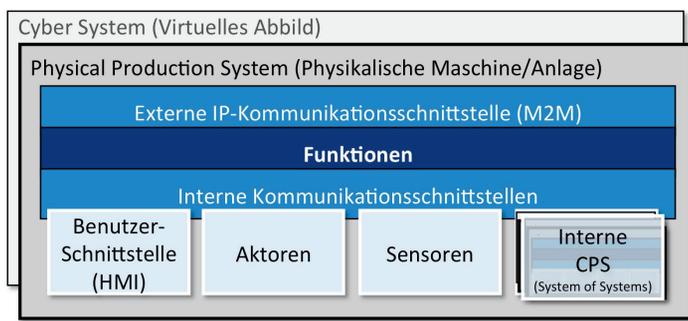


Bild 3: Aufbau eines Cyber-Physical-Production-Systems

1980er Jahren ähnliche Ziele [2]. Der CIM-Ansatz kam aber mindestens 20 Jahre zu früh, weil die lokalen IT-Techniken (die sogenannten eingebetteten Systeme), lokalen Datenspeicher und Kommunikationsnetzwerke damals noch nicht zur Verfügung standen.

CIM war Großrechnerdenken. Die Vorstellung bei CIM war, der Produktionsablauf werde besser, wenn alles über zentrale Rechner gesteuert würde. Industrie 4.0 mit seiner konsequenten Dezentralisierung ist das Gegenteil davon. Industrie 4.0 ist auch mehr als eine Neuauflage des CIM-Gedankens, weil der Mensch nicht mehr durch den Computer ersetzt, sondern unterstützt werden soll.

Das Revolutionäre an der Industrie 4.0

Viele Technologien für Industrie 4.0 existieren schon heute in der weit entwickelten Welt der Automatisierungstechnik. Schon heute sind Automatisierungssysteme in der Lage komplexe Aufgaben durchzuführen und über das Internet miteinander zu kommunizieren.

Das revolutionäre an der Industrie 4.0 ist vielmehr, dass sich Maschinen und auch die Produkte künftig selbst miteinander abstimmen und selbst organisieren sollen (**Bild 2**), ohne dass Menschen oder gar zentrale Computer eine koordinierende Rolle übernehmen müssten.

Cyber-Physical-Systems, smarte Produkte und Cloud Computing, so die vorherrschende Meinung, haben jetzt das Potenzial, den industriellen Prozess einmal mehr zu revolutionieren.

DIE SCHLÜSSELBAUSTEINE DER INDUSTRIE 4.0

In diesem Kapitel soll die hinter dem Begriff Industrie 4.0 stehende Technik kurz erläutert werden. Die drei wesentlichen Bestandteile sind Cyber-Physical Production Systems, smarte Produkte und Cloud Computing.

Cyber-Physical Systems

Cyber-Physical Systems (CPS) sind die Schlüsselbausteine der Industrie 4.0. Schon der Namen lässt vermuten, dass es sich dabei um eine besondere Mischung handeln muss. „Cyber“ hat ja umgangssprachlich auch die Bedeutung einer von Computern erzeugten Scheinwelt, wohingegen „Physical“ für die reale Welt der Dinge steht.

Wie in **Bild 3** dargestellt, ähnelt ein CPS in seinem grundsätzlichen Aufbau einem mechatronischen System [1]. Es verfügt typischerweise über eingebettete Systeme, Funktionen, Sensoren, Aktoren, eine Benutzerschnittstelle sowie über interne und externe Kommunikationsschnittstellen. Das gleiche Bild könnte auch eine Maschine mit einer SPS darstellen.

Durch die interne Vernetzung mehrerer CPS entsteht ein zusammengesetztes System (System of Systems). Ein zu diesem Zweck konstruiertes System von Systemen kann beispielsweise eine Werkzeugmaschine oder eine Thermo-prozessanlage sein. Zur Differenzierung werden diese für eine Maschine zusammengesetzten CPS meist Cyber-Physical-Production-Systems (CPPS) oder auch ProCPS genannt.

Die Hauptbestandteile eines CPPS sind:

Cyber-System

Rein technisch gesehen ist das Cyber-System, also das virtuelle Abbild des physischen Produktionssystems, die größte Veränderung gegenüber heutigen Automatisierungssystemen.

Cyber-Systemmodelle beschreiben das systemische, informationstechnische und physikalische Verhalten einer Produktionsanlage. Im Cyber-System greifen virtuelle und physische Welt ineinander. Das Eine ist das Spiegelbild des Anderen. Physische und virtuelle Welt existieren quasi nebeneinander und ergänzen sich gegenseitig. Typische Parameter in einem Cyber System sind Geometriedaten, beispielsweise 3D-CAD Konstruktionspläne, Kinematikdaten, Technologiedaten, Temperaturgradienten, Schrittabläufe, etc.

Im Cyber System lässt sich das reale physische System simulieren und optimieren. Beispielsweise kann die Simulation die Produktion schon im Vorfeld optimieren, besonders wenn es zu Problemen kommt.

Im Idealfall ist das virtuelle Abbild immer aktuell und wird über den gesamten Lebenszyklus erweitert.

Maschine zu Maschine Kommunikation (M2M)

Jedes CPS oder CPPS hat seine eigene unverwechselbare IP-Adresse. Es kann daher über das Internetprotokoll Daten austauschen und bearbeitet werden. Zwischen CPS gibt es keine Hierarchie. Jedes CPS kommuniziert direkt mit anderen CPS.

Kommunikation über das Internet, oft drahtlos, ist kennzeichnend für CPS. Wenn beispielsweise ein Produkt der Maschine mitteilt, wie es bearbeitet werden soll, wird dies vorzugsweise drahtlos geschehen.

Automatisierte M2M Kommunikation ist die Basis für das sogenannte „Internet der Dinge“. Fernes Ziel ist, dass sich CPS automatisch miteinander verbinden (Plug and Play). Dies ist im Industrieumfeld aber nicht so einfach, weil im Gegensatz zur verbalen oder bildhaften Kommunikation, beispielsweise zwischen Smartphones, in der Industrie auch noch die Übertragung von Daten und Steuerbefehlen in Echtzeit gefordert sind.

Damit Plug and Play irgendwann möglich wird, ist eine semantische Beschreibung der M2M-Kommunikation unumgänglich. D.h. die M2M-Kommunikation beschränkt sich dann nicht nur auf Zeichen, sondern beinhaltet auch die Bedeutungen dieser Zeichen.

Wenn das Cyber-System, wie vorstehend ausgeführt, die größte Veränderung gegenüber der heutigen Automatisierung ist, dann ist die automatisierte M2M-Kommunikation vermutlich die größte technische Herausforderung. Ohne weltweit standardisierte Schnittstellenprotokolle und insbesondere ohne überzeugende Sicherheitsmechanismen wird man dem Ziel automatisierte M2M Kommunikation nicht näherkommen.

Funktionen (und Softwareagenten)

Der Kern eines CPPS sind seine Funktionen. Dazu ist es da. Die Funktionen werden durch Sensoren, Aktoren (Mechanik und Elektronik) und Programme (Software), so wie in anderen mechatronischen Systemen auch, umgesetzt.

Zu den bekannten klassischen Funktionen (Steuern, Regeln, etc.) [6] kommen einige neue „übergeordnete“ Funktionen, beispielsweise Selbstorganisation, hinzu. Hierfür sind sogenannte Softwareagenten zuständig. Ein Softwareagent ist ein eigenständiges Computerprogramm, das vorgegebene Ziele verfolgt und in einem vorgegebenen Handlungsrahmen selbstständig agieren kann. Softwareagenten handeln proaktiv und autonom.

Weitere Funktionen umfassen die Organisation und Speicherung von Daten, die Erstellung und Bearbeitung von virtuellen Modellen, Überwachung, Analyse und Auswertung, etc. Kennzeichnend ist dabei eine Verlagerung von Funktionen und Daten in die Cloud, besonders für die Analyse und Verarbeitung großer Datenmengen.

Da ein CPPS individuell auf die Applikation zugeschnitten wird, müssen die Funktionen, so wie in einer SPS, programmierbar sein.

Benutzerschnittstelle

Bei der Bedienung eines CPPS soll der Nutzer ganz natürlich, beispielsweise durch Sprache oder Gesten, kommunizieren. Hierbei wird die Realität durch die Einblendung von zusätzlichen Daten aus dem Cyber System ergänzt. Über die realen Objekte werden beispielsweise durch den Einsatz von Tablets virtuelle, kontextbezogene zusätzliche Informationen gelegt. Im Idealfall verschmelzen die virtuelle und die reale Welt und erleichtern dem Nutzer seine Umgebung zu verstehen [1].

Physikalische Größe

Räumliche Ausdehnung, also physikalische Größe, ist kein kennzeichnendes Merkmal eines CPS. Typischerweise wird bei CPS im Industrieumfeld eher an kleine smarte Sensoren gedacht, weil sich ein CPS durch moderne Mikrosystemtechnik prinzipiell auf einem einzigen Chip anordnen lässt. Ein physikalisch größeres CPS bzw. CPPS, bestehend aus einem System von Systemen, könnte beispielsweise eine Baugruppe oder eine ganze Maschine sein. Die Maschine oder Anlage kann wiederum selbst Teil einer Smart Factory sein. Im Extremfall kann ein CPPS über die gesamte Welt verteilt sein und ein ganzes Unternehmen oder eine Wertschöpfungskette abbilden [1].

Exkurs: Die Zukunft der SPS

An dieser Stelle stellt sich die Frage: „Welche Automatisierungstechnik steckt konkret hinter dem Begriff CPS, bzw. welche Rolle spielt dabei die SPS?“

Automatisierungstechnische Aufgaben sind, wie auf der linksseitig in Bild 4 dargestellt, traditionell hierarchisch aufgebaut [5] [6]. An der Spitze der Automatisierungspyramide steht die Unternehmensleitebene (ERP und MES), darunter die Prozessleitebene (PLS, bzw. SCADA) und darunter die Steuerungsebene mit SPS oder IPC und anderen spezialisierten Automatisierungssystemen. In der Regel ist auf der Steuerungsebene 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 Ausgangsignalen. Steuerungssoftware sowie Mensch-Maschine-Schnittstellen (HMI) werden individuell für eine Anlage programmiert.

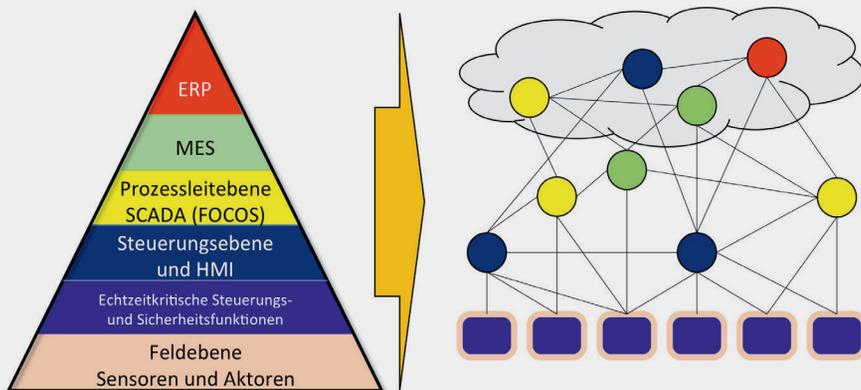


Bild 4: Von der Automatisierungspyramide zur Netzwerk-Automatation

Regelung und Steuerung der Anwendung machen i.d.R. nur einen vergleichsweise kleinen Teil des SPS-Programms aus. Wesentlich größere Programmteile sind für die Fehlerdiagnose, die Auftrags- und Werkstückdatenverarbeitung, Datalogging, Rezepturen, die Visualisierung und für die Kommunikation mit anderen Systemen erforderlich.

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. Allerdings gab und gibt es bei den auf Windows-Betriebssystemen basierenden IPCs die aus der Office Welt sattem bekannten Probleme: Computerviren, Würmer und Trojaner, mit unter Umständen gravierenden Folgen.

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.

Mit der Einführung von CPS und den Softwareagenten wackelt nun die klassische Automatisierungspyramide. Hierarchische Architekturen lösen sich, wie rechtsseitig in **Bild 4** 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 zum Big Data Speicher in der Cloud. In einem solchen Netzwerk könnte bei-

spielsweise 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, beispielsweise Redundanz oder Fail Safe, werden auch zukünftig beachtet werden müssen [7].

Bei fast allen Maschinen und Anlagen, insbesondere aber 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, beispielsweise Updates betreiben zu können. Gerade der Gegensatz zwischen einem stabilen SPS-Betriebssystem und sich ständig veränderten IT-Betriebssystemen spricht sehr zugunsten der SPS-Betriebssysteme.

Hat die SPS eine Zukunft?

Vor diesem Hintergrund ist die Frage durchaus berechtigt: Hat die klassische SPS in der Industrie 4.0 eine Zukunft? Ist sie „smart“ genug?

Prüfsteine für die Automatisierungstechnik sind die Echtzeitfähigkeit, die Sicherheit (Safety and Security) und natürlich die klassischen Möglichkeiten der SPS, d.h. die einfache individuelle Programmierbarkeit der Applikation. Diese Eigenschaften werden auch zukünftig in einem CPPS benötigt. Für diese Sichtweise auf eine SPS als Herzstück eines CPPS 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 die Bedienerschnittstellen, weg von fest installierten Bedienterminals hin zu mobilen Tablets mit intelligenten Bedienoberflächen mit Augmented Reality. Dieser Umbruch ist aber schon längst in Gange.

Zum Stand heute, ist es jedenfalls keinesfalls ausgemacht, dass die SPS in der Industrie 4.0 ihre herausragende Stellung verliert. Sie wird sich aber verändern.

Smarte Produkte

Damit kommen wir zum zweiten wesentlichen Bestandteil der Industrie 4.0, den smarten Produkten. Dabei muss von Anfang an unterschieden werden, dass ein Produkt entweder ein zu fertigendes Teil, also ein Werkstück oder aber ein Bauteil einer Maschine sein kann.

Wenn wir von intelligenten oder smarten Produkten sprechen, meinen wir damit, dass ein zu fertigendes Produkt alle erforderlichen Informationen über seine Produktionsschritte besitzt, oder als Bauteil einer Maschine, beispielsweise als Ersatzteil, auch alle weiteren in seinem Lebenszyklus wichtigen Ereignisse aufzeichnen kann [1] [3] [4]. Mit anderen Worten: Das smarte Produkt steuert seine Produktion selbst und sein digitales Gedächtnis ist über den gesamten Lebenszyklus immer aktuell.

Smarte Werkstücke

Bei der Herstellung smarter Werkstücke, beispielsweise Zahnräder für Automobilgetriebe, kommt oft eine schon weitestgehend eingeführte und bewährte Technik zum Tragen: Die Radio Frequency Identification Tags (RFID). RFID sind Identifikations- und Informationsträger mit einer sicht- und kontaktlosen Datenübertragung [1].

Bild 5 zeigt eine schon in unserem Alltag eingekehrte Anwendung von RFID-Chips auf einem elektronisch lesbaren Personalausweis (Quelle <http://www.neuer-personalausweis.com/>).

Gegenüber den heutzutage in der innerbetrieblichen Transportlogistik weit verbreiteten Bar-, Data-Matrix- oder QR-Codes sind die Informationen auf RFID-Chips änder- und erweiterbar und können schon in einfachen Ausführungen bis zu 512 Bit Information aufnehmen². Die Produktdaten sind somit auch immer dort verfügbar, wo sich das Werkstück gerade befindet, wobei anstelle eines Werkstücks auch ein Transportbehälter gemeint sein kann. Auf diese Weise können nicht nur die erforderlichen Fertigungsschritte vorgegeben werden, sondern auch direkt am Produkt Informationen zur Historie gespeichert werden.

Das eigentlich revolutionäre an RFID-Chips ist aber, dass wegen ihrer kleinen Größe und trotz ihren immensen Vorteilen geringen Kosten, im Prinzip jedes einzelne Produkt mit RFID ausgerüstet werden könnte.

Allerdings, und darauf soll an dieser Stelle schon einmal hingewiesen werden, sind RFID-Chips für eine Offenreise nicht geeignet. D.h. für die Reise durch Thermostromanlagen müssen andere Lösungen, wie im Kapitel Werkstückpositionsverfolgung beschrieben, gefunden werden.

² Ein optischer Code lässt sich im laufenden Prozess nicht verändern. Die sich verändernden Informationen werden in einer Datenbank (digitales Produktgedächtnis) mitgeführt, auf die der optische Code verweist.



Bild 5: RFID-Chip auf einem elektronisch lesbaren Personalausweis

Smarte Maschinenbauteile

In gewissem Sinne revolutionär sind smarte Maschinenbauteile. Während smarte Werkstücke ihre Herstellung selbst steuern, geht es bei smarten Maschinenbauteilen sozusagen um das Leben danach. „Maschinenbauteile führen Tagebuch“ könnte die Überschrift zu diesem Absatz daher auch lauten³.

Dazu muss ein Bauteil mit einem Data Matrix Code oder RFID-Chip als Träger einer eindeutigen Bauteilkennzeichnung und einem digitalen Zwilling in der Cloud ausgerüstet werden. Während des Betriebs erfolgt über das CPPS eine automatische Aufzeichnung der Betriebsdauer- bzw. -Zyklen, Einsatzbedingungen, etc. Im digitalen Gedächtnis des Maschinenbauteils in der Cloud entsteht so eine Dokumentation, welche es ermöglicht, den Lebenszyklus mit all seinen Ereignissen lückenlos zu verfolgen. Der digitale Zwilling hat also quasi zusätzlich die Funktion einer „Black Box“ in Flugzeugen, die alle relevanten Parameter aufzeichnet und bei Bedarf zum autorisierten Zugriff freigibt.

Wird das Maschinenbauteil zur Reparatur demontiert, nimmt das Bauteil mit dem Data Matrix Code oder RFID-Chip seine eindeutige Kennung mit. Alle durchgeführten Maßnahmen können im digitalen Zwilling nachgeführt und dem Servicetechniker an jedem beliebigen Ort bereitgestellt werden. Ein Aspekt, der nicht nur für die Durchführung der Wartung von Interesse ist, sondern insbesondere dann an Bedeutung gewinnt, wenn das Bauteil nach einer Instandsetzung an einer anderen Maschine oder nach längerer Unterbrechung wieder zum Einsatz kommt.

Cloud-Computing

Aus den vorstehenden Beschreibungen der CPS und den smarten Produkten ist deutlich geworden, dass noch ein drittes Element fehlt: Cloud-Computing und Industrie 4.0

³ Siehe auch Innovationsallianz „Digitales Produktgedächtnis“ im Rahmen des IKT-2020 Forschungsprogramms des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF).

gehen meist Hand in Hand. Aber nicht nur in der Industrie 4.0 hat sich Cloud-Computing zu einem der wichtigsten IT-Trends der letzten Jahre entwickelt.

Kurzgefasst ist Cloud-Computing (Computer Locations Outside Usual Designs) die Bereitstellung von Soft- und Hardware auf einer Plattform, auf die über das Internet weltweit zugegriffen werden kann. Beim Cloud-Computing ist es möglich IT-Leistungen über mehrere Standorte zu verteilen. Cloud-Computing ist aber viel mehr als nur die Bereitstellung von großen Datenspeichern. Cloud-Computing schließt auch eine ganze Reihe von IT-Leistungen mit ein, die sich ein „normaler Nutzer“ in der Regel nicht exklusiv leisten könnte. Solche Anwendungen sind typischerweise durch wenig strukturierte Daten gekennzeichnet (Big Data). Dem Angebotsspektrum sind kaum Grenzen gesetzt.

Cloud-Computing wird schon seit Jahren von einigen Spezialisten angeboten. Cloud Computing wird in der Regel gemietet. Die Anwender brauchen Hardware und Software nicht mehr selbst vorzuhalten, zu warten und zu pflegen. Sie erhalten dann Zugriff auf die individuell erforderliche Speicher- und Rechenleistung (bis zum Supercomputer) zu vergleichsweise günstigen Preisen. Solche Anwendungen werden in der Industrie eine immer größere Rolle spielen und insbesondere den Einsatz von Big Data Applikationen vorantreiben.

Gerade Big Data ist sehr eng mit Cloud-Computing verbunden, bei dem Daten aus verschiedenen Quellen in verschiedenen Formaten in kürzester Zeit verarbeitet werden müssen. Dabei beschleunigt eine Entwicklung die andere.

Allerdings, schon das Wort Cloud löst oft Verunsicherung und teilweise Ablehnung aus. Was kann schon in einer Wolke funktionieren? Cloud-Computing ist (noch) wegen der offensichtlichen Nachteile vorbelastet. Diese sind einerseits eine mit dem Outsourcing einhergehende Abhängigkeit vom Cloud-Computing-Anbieter und andererseits Befürchtungen um die Datensicherheit. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass die Nachteile durch zunehmenden Wettbewerb und höhere Datensicherheit (inklusive gesetzliche Vorgaben) in den Hintergrund treten.

Aber nicht nur aus diesen Gründen hängt die Praxis der Theorie (bzw. den Chancen dieser Technologie) noch deutlich hinterher. Hersteller und Betreiber müssen bei Cloud-Computing Applikationen auch noch eine angemessene Aufgaben- und Verantwortungsaufteilung finden.

Lesen Sie **Teil 2** in der kommenden **Ausgabe gwi 3**.

LITERATUR

- [1] 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
- [2] Steck-Winter, H.; Bachem, H.: Konzept und Realisierung einer automatischen Härtereie, HTM 45 (1990-3), München 1990
- [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.; Unger, G.: Steuern, Regeln, Überwachen und Visualisieren von Thermoprozessanlagen. In Praxishandbuch Thermoprozessertechnik Band II, 2. Auflage, S. 959-962, Vulkan Verlag Essen, 2011
- [7] Steck-Winter, H.: Sichere Thermoprozessanlagen 2.0. gwi – gaswärme international Nr. 5-2012, Vulkan Verlag Essen, 2012
- [8] Steck-Winter, H.; Unger, G.: Anforderungen an eine CQI-9 konforme Automatisierungstechnik. gwi – gaswärme international Nr. 4-2009, Vulkan Verlag Essen, 2009
- [9] Imagination Computer Services GesmbH: Magic Lens, <http://www.magiclensapp.com/de/>
- [10] Filounek, A.; Steck-Winter, H.: Wissensmanagement bei der Instandhaltung von Thermoprozessanlagen. In gwi - gaswärme international Nr. 3-2014, Vulkan Verlag Essen, 2014
- [11] IBM: Lösungen und Software für Predictive Analytics, <http://www-01.ibm.com/software/de/analytics/spss/>
- [12] Steck-Winter, H.: Vorausschauende Instandhaltung von Thermoprozessanlagen. gwi – gaswärme international Nr. 3/2011, Vulkan Verlag Essen, 2011

AUTOREN



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



Ing. Günther Unger
Aichelin Ges.m.b.H
Mödling
Tel.: 0043/ (0) 2236/ 23646 -275
guenther.unger@aichelin.com

Widmung

Dieser Fachbeitrag ist Heinz Berger gewidmet der am 4.2.2015 verstorben ist. Heinz Berger war von 1952 bis 1997 geschäftsführender Gesellschafter bei AICHELIN in Korntal und bis 2013 Gesellschafter der AICHELIN-Gruppe.

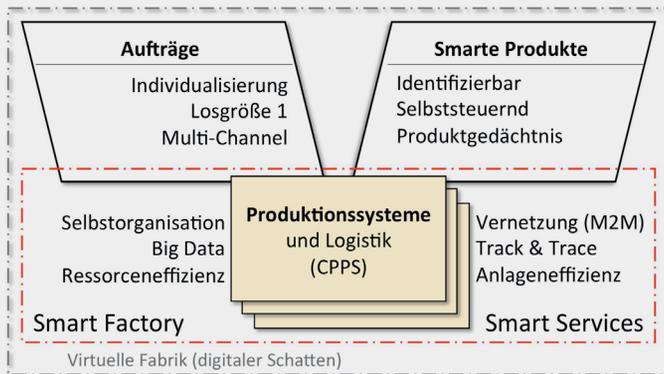


Bild 2: Kennzeichen einer Smart Factory

menwirken. Eine intelligente Fabrik (Smart Factory) der Zukunft besteht, wie in **Bild 2** dargestellt, aus mehreren CPPS (Produktionsmaschinen, Anlagen, Förder- /Lagersystemen), smarten Produkten und Cloud-Computing. Produktionsaufträge in der Smart Factory sind individualisiert, mit kleinen Losgrößen und haben wenn möglich alternative Prozesse (Multi-Channel). Die herzustellenden smarten Produkte sind eindeutig identifizierbar, jederzeit lokalisierbar, steuern sich selbst und sie kennen ihren aktuellen Zustand sowie ihre Historie.

Produziert und transportiert wird mit CPPS. Im Idealfall wird ein neues CPPS mit „Plug and Play“ zum bestehenden System dazu geschaltet. So lassen sich auf einfache Weise CPPS austauschen oder neue CPPS hinzufügen, ohne dass das gesamte System neu programmiert werden muss. Durch die umfassende Vernetzung entsteht eine völlig neue Produktionslogik mit bisher nicht gekannter Flexibilität und Autonomie.

Der Herstellungsprozess wird nicht mehr zentral aus der Planung heraus organisiert, sondern steuert sich selbst. 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 eine automatische Organisation der Produktionsmöglichkeiten.

Die Smart Factory zeichnet sich außerdem durch hohe Ressourcen- und Anlageneffizienz, Smart Services und Big Data aus.

Die Rolle der Beschäftigten in der Smart Factory

Eine menschenleere Fabrik hält wohl niemand für realistisch oder gar wünschenswert. Alle haben aus den Fehlern des gescheiterten CIM-Konzepts gelernt.

Dennoch, Automaten und Roboter haben bereits heute viele monotone Tätigkeiten übernommen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die noch verbliebenen Lücken in der Fabrikautomatisierung weiter geschlossen werden.

Das Internet der Dienste und der Dinge in unserem persönlichen Umfeld wird ebenfalls deutliche Spuren in unserer Arbeitswelt hinterlassen. Die Beschäftigten werden ihre Erfahrungen, Wünsche und Sorgen aus ihrem persönlichen Umfeld in die Fabrik mitnehmen.

Was also gibt es für die Beschäftigten in einer Smart Factory noch zu tun?

Die in der intelligenten Fabrik der Zukunft arbeitenden Menschen müssen vermehrt konzeptionell denken und sich um die Steuerung, Koordination und Instandhaltung kümmern [4]. Insbesondere im Service wird eine Verlagerung zu Ingenieurarbeit stattfinden. Monotone Sacharbeit, egal ob Hand- oder Kopfarbeit, ist künftig weniger gefragt.

So klar ist die Rolle der Beschäftigten in der Smart Factory allerdings doch noch nicht. Oder wie der Verdi-Chef Frank Bsirske in einem Interview zur Industrie 4.0 sagte: „Die Frage ist, inwieweit auf die Automatisierung der Muskelkraft eine Automatisierung des Denkens folgt.“

Paradigmenwechsel

Die Steuerung herkömmlicher Fabriken trennt den Produktionsprozess in zwei Schritte auf: Die detaillierte Planung aller Produktionsprozesse und anschließend, die von der Planung entkoppelte Ausführung der einzelnen Produktionsschritte. Nachteile sind u. a. Inflexibilität und Störanfälligkeit [4].

Hinzu kommt, dass fast alle Experten in der Flexibilisierung der Produktion bis hin zum sogenannten „One Piece Flow“² einen wesentlichen Trend sehen, der sich auch in Zukunft ungebrochen fortsetzen wird. Vorhandene Fertigungskapazitäten müssen also mit möglichst geringen Umstellverlusten flexibel genutzt werden können, um trotzdem eine hohe Auslastung bzw. Produktivität zu gewährleisten.

Die Smart Factory bringt nun einen Paradigmenwechsel in der Produktionsorganisation mit sich. Die smarte Fabrik organisiert sich selbst. Smarte Werkstücke unterstützen die Selbstorganisation aktiv.

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.

² Mit „One piece flow“ wurde ursprünglich die Montage einzelner Teile am Fließband bezeichnet. In jüngster Zeit wird der Begriff oft auch für sehr kleine Teilmengen (Lose) bis zur Losgröße 1 verwendet.

Der für die Selbstorganisation zuständige Softwareagent muss dabei auf einen möglichst hohen Auslastungsgrad hinarbeiten. Mehrere an sich autonome CPPS müssen in ihrer Cyberwelt so zusammenwirken, dass trotz kleinster Losgrößen eine möglichst optimale Produktivität des realen physischen Umfelds entsteht.

Virtuelle Fabrik

In der Fabrik der Zukunft wachsen virtuelle und reale Welt weiter zusammen. Auch die reale Smart Factory hat einen digitalen Schatten. In der realen physischen Welt sind die CPPS durch den Materialfluss miteinander verbunden. In der virtuellen Welt und in der Cloud finden alle Abstimmungs- und Optimierungsschritte statt.

Ressourcen- und Anlageneffizienz

Mithilfe der Automatisierungstechnik lassen sich schon heute Fertigungsprozesse so steuern, dass eine gleichbleibend hohe Qualität und zugleich auch eine sparsame und effiziente Nutzung von Ressourcen sichergestellt sind. Beispielsweise können nicht qualitätsrelevante energieintensive Prozesse nachrangig bzw. versetzt durchgeführt werden, um den Ressourceneinsatz bzw. das benötigte Energiemaximum zu verbessern.

Vor dem Hintergrund von Industrie 4.0 bedeutet Ressourceneffizienz, die Prozesse und Anlagen neu zu bewerten und zu optimieren. In einer Smart Factory wird der Systemgedanke zum Effizienztreiber. Die Optimierung des Einsatzes von natürlichen Ressourcen reicht dabei von der Simulation über die Vernetzung mit intelligenter Prozesssteuerung, der Wartung der Anlagen bis hin zum Monitoring während des Betriebs. Recyclinggerechtes Design gehört dabei ebenso dazu wie das Aufdecken bisher nicht bekannter Zusammenhänge durch Big Data.

Smart Services

Cyber-Physical Production Systems, smarte Produkte und Cloud Computing, revolutionieren auch den Service. Intelligente Produkte (Bauteile, Baugruppen, Maschinen und Anlagen) werden mit physischen und digitalen Dienstleistungen zu Smart Services kombiniert. Produkt und Serviceleistung ergänzen einander und werten sich gegenseitig auf.

Nicht wenige Experten meinen, dass künftig auch die Daten, die mit den Produkten und Maschinen erzeugt und gesammelt werden können, ebenso wichtig wie das physische Produkt sind. Daten sind der Stoff, aus dem nahezu alle erdenklichen Dienste generiert werden können.

Big Data

Die hierarchielose Vernetzung und Cloud Computing werden eine nie dagewesene Fülle an Daten beschern. Die Datenmengen werden geradezu explodieren. Datensparsamkeit ist out, das Sammeln von Daten ist der Zweck des

Systems. Aus gutem Grund spricht man daher von Big Data. Die Analysten der Unternehmensberatung Gartner³ sind der Meinung, dass bis 2016 rund 70 % der profitabelsten Unternehmen Big Data Analysen verwenden werden. Ziel ist es, aus großen Datenmengen verborgenes Wissen (Smart Data) zu gewinnen, das sich aus der Relation aus Ereignissen und deren Folgen erkennen lässt. Beispielsweise durchforsten Analyseprogramme den Berg unstrukturierter Daten, um zu erkennen, welche Auswirkungen ein kleines lokales Problem auf die Produktqualität hat. Dieses Beispiel zeigt auch die Einschränkungen. Vorhandenes wird neu kombiniert, es wird aber nichts Neues geschaffen. Das Wissen muss in den Daten schon enthalten sein.

Big Data Technologien machen derzeit einen Riesensprung. Wir sehen einen Umbruch, der schon begonnen hat. Beispielsweise in der Windenergie-Industrie ist die vorausschauende Instandhaltung mithilfe von Big Data Analysen bereits gängige Praxis. In einer häufig vorkommenden Applikation übermittelt der Rotor alle Sensordaten über Temperaturen, Windgeschwindigkeiten und Vibrationen an ein Servicezentrum. Aus der Gesamtheit dieser Daten lässt sich relativ genau der Zeitpunkt bestimmen, an dem die Rotorlager verschlissen sind, noch lange bevor sie zu Bruch gehen. Der Betrieb lässt sich so bis hart an die Grenze der Belastbarkeit ausdehnen und die Instandhalter haben trotzdem noch ausreichend Zeit ihren Einsatz vorzubereiten.

Es ist abzusehen: Mit Big Data wird es insbesondere im Service Funktionen und Dienste geben, an die wir heute noch gar nicht denken⁴. Big Data Analysen werden zu einer zusätzlichen Disziplin im Service! Dazu muss man, wie bereits ausgeführt, nicht Eigentümer eines Supercomputers sein.

Topthema Sicherheit

Die Vernetzung über das Internet schafft eine neue Qualität von Gefährdungen. Neben der Betriebssicherheit (Safety), die gewährleistet, dass Produktionssysteme keine Gefahr für Menschen und Umwelt darstellen, gewinnt die IT-Angriffssicherheit (Security) enorm an Bedeutung. Hinzu kommt, dass Cloud Computing hohe Ansprüche an den Datenschutz stellt.

Um die Sicherheit (Safety und Security) in der Smart Factory zu gewährleisten, ist ein proaktiveres Vorgehen als bisher nötig. Anlagen, Produkte, Daten und Know-how müssen 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

³ Siehe <http://www.gartner.com/technology/topics/big-data.jsp>

⁴ Big Data wurde von McKinsey als die nächste Grenze für Innovation, Wettbewerb und Produktivität identifiziert.

Anfang an mitgedacht werden [7]⁵. Die Daten-, Informations- und Kommunikationssicherheit ist wahrscheinlich der kritischste Erfolgsfaktor für die Smart Factory und alles, was damit zusammenhängt. Die Industrie wird nur dann über das Internet den Zugang in den Fabriken öffnen, wenn sie verlässliche und belastbare Sicherheitslösungen bekommt. Wie auch immer, eines ist sicher: Auch in der Fabrik der Zukunft werden Maschinen und Anlagen einen Netzwerkstecker und einen Not-Aus-Knopf haben!

THERMOPROZESSANLAGEN IN SMART FACTORIES

In diesem Kapitel wird nun versucht die Auswirkungen der vorstehend beschriebenen Anforderungen und Trends der Industrie 4.0 auf Thermoprozessanlagen in einer Smart Factory zu beleuchten.

Thermoprozessanlagen, wie beispielsweise in **Bild 3** dargestellt, verwenden die übliche Technik des Maschinen- und Anlagenbaus, die auch zukünftig die Basis ihrer Automatisierungstechnik sein wird. Insofern werden Thermoprozessanlagen den Trends des Maschinen- und Anlagenbaus folgen. Es geht also vorrangig um spezifische Einschränkungen und Besonderheiten von Thermoprozessanlagen.

Im Fokus stehen dabei:

- das Cyber-System,
- die Maschine-zu-Maschine-Kommunikation,
- die Fähigkeit zur Selbstorganisation (und Simulation),
- kleinere Losgrößen infolge der höheren Flexibilität (automatische Sortentrennung und Rezeptwechsel),
- Nachverfolgung und Dokumentation (Track and Trace),
- die Mensch-Maschine-Kommunikation.



Bild 3: Beispiel einer Mehrzweck-Kammerofenanlage

Cyber-System

Die Bandbreite dessen, was man sich unter einem Cyber-System vorstellen kann, ist groß. Daher ist es sinnvoll sich vor Augen zu führen, was mit dem virtuellen Abbild erreicht werden soll.

Zuvorderst steht dann die Fähigkeit zur Selbstorganisation. Das heißt, das Cyber-System muss eine „Vorstellung“ von den Eigenschaften der physischen Thermoprozessanlage haben und diese in der Cyberwelt repräsentieren. Es muss dann mit dem für die Produktionsorganisation zuständigen Softwareagenten der Smart Factory die möglichst optimale Anlagenauslastung aushandeln.

Eine weitere wichtige Anwendung des Cyber-Systems ist die Verbesserung der Flexibilität. Im Cyber-System lässt sich die Wärmebehandlung im virtuellen Modell optimieren. Sobald die Produktion dann tatsächlich anläuft, geschieht dies unter Idealbedingungen.

Visionär ist beides nicht mehr. Schon heute kann eine moderne Thermoprozessanlage die Wärmebehandlung simulieren und einem Leitreechner die jeweiligen von der Belegung abhängigen Umstellzeiten auf Anfrage mitteilen, damit dieser die optimale Produktionsreihenfolge festlegen kann.

Damit dies zukünftig auch in einer Smart Factory quasi automatisch funktioniert, sind aber im Bereich der M2M-Kommunikation noch eine ganze Reihe von Entwicklungen zu leisten.

Das Eigenleben der Thermoprozessanlagen

Nicht wenige „alte Hasen“ sagen, dass Thermoprozessanlagen ein Eigenleben hätten. Jede Anlage, so sagen sie, ist ein bisschen anders. Selbst baugleiche Anlagen sind keine verfahrenstechnischen Zwillinge!

Schaut man sich in großen Härtereien um, dann wird man auch feststellen können, dass die Wärmebehandlung kritischer Bauteile tatsächlich recht häufig nur auf wenigen Anlagen erfolgt, obwohl prinzipiell eine höhere Flexibilität möglich wäre. Manchmal ist es leider auch so, dass das „Eigenleben“ nicht stationär ist, sondern sich über die Zeit verändert. Daraus ergibt sich dann auch häufig die Notwendigkeit von Vorserien zur Nachjustierung, die wegen der großen Durchlaufzeiten die Flexibilität aber enorm einschränken.

Hierfür gibt es auch gute Gründe, die aber mit Alchemie nichts zu tun haben. Schon zulässige Toleranzen und Drift an einigen Sensoren, beispielsweise Thermoelemente, können zu unterschiedlichen Behandlungsergebnissen führen. Hinzu kommen kleine konstruktive Unterschiede, beispielsweise im Härtebad oder Beheizungssystem.

⁵ In dem zitierten Beitrag beschäftigt sich der Autor umfangreich mit dem Thema Sicherheit von Thermoprozessanlagen. Obwohl es ein Topthema ist, wird dieses Thema in diesem Beitrag eher kurz gehalten.

Das sog. Eigenleben von Thermoprozessanlagen ist ein zusätzlicher Anreiz, das virtuelle Abbild schnellstmöglich in die Realität umzusetzen, weil sich dort quantitative Eigenschaften gut beschreiben lassen. Kalibriertabellen und Sollwert-Offsets werden dabei bestimmt nicht ausreichen, sie sind aber ein guter Anfang. Allein schon die konsequente Anwendung der zutreffenden Inhalte der CQI-9 und deren Dokumentation im virtuellen Abbild werden signifikante Fortschritte möglich machen [8].

Maschine-zu-Maschine-Kommunikation

Typischerweise kommuniziert eine Thermoprozessanlage mit vor- und nachgeschalteten Transporteinrichtungen, ggf. in die Anlage integrierten Maschinen, beispielsweise eine Härtepresse, sowie zukünftig mit der Cloud.

Eine Automatisierung (Plug and Play) dieser Schnittstellen ist derzeit kaum vorstellbar. Zum einen, weil die Kommunikationsinhalte sehr spezifisch sind und in Echtzeit übertragen werden müssen und zum anderen, weil weder die Schnittstellenhardware noch die Protokolle ausreichend standardisiert sind. An Schnittstellenproblemen, bei denen bekanntlich der Teufel im Detail steckt, wird sich voraussichtlich so schnell nichts Gravierendes ändern.

Selbstorganisation und Simulation der Wärmebehandlung

Die Fähigkeit zur Selbstorganisation der optimalen Wärmebehandlungsreihenfolge setzt die Simulation der Wärmebehandlung im Cyber-System voraus.

Beispielsweise dürfte eine als CPPS angelegte Thermoprozessanlage mit langer Umstellzeit seine Informationsgrenze nicht an der Materialaufgabe enden lassen, sondern müsste vielmehr mit den anderen CPPS in der Fabrik eine Auftragsreihenfolge mit den geringsten Umstellverlusten „verhandeln“ und „nachsehen“, ob weitere Chargen mit gleichen Behandlungsparametern in der Planung sind.

Diese Aufgabe ist lösbar! Vielleicht haben Thermoprozessanlagen gegenüber dem allgemeinen Maschinenbau in ihren virtuellen Möglichkeiten sogar die Nase vorn. Simulationsprogramme sind in der Wärmebehandlung seit Jahren Stand der Technik, beispielsweise für die Kohlenstoff-Diffusionsberechnung oder für die Anlass-temperaturberechnung beim Vergüten von Befestigungsteilen.

Produktionsflexibilität

Die inhärente Inflexibilität großer Durchlaufanlagen steht zunächst im Gegensatz zu den Zielen einer Smart Factory. Gehören doch eine hohe kundenindividuelle Produktvariantenflexibilität bis hin zum One Piece Flow mit zu den zentralen Anforderungen.

Die Frage ist allerdings, wieweit diese Anforderung auf die Wärmebehandlung durchschlägt. Aus Kostengründen

gibt es auch die ebenfalls zunehmenden Plattformstrategien mit hohen Produktionsmengen gleicher Bauteile, beispielsweise von Getriebeteilen. Die kundenindividuelle Variantenvielfalt findet sich nämlich eher im für den Endkunden, beispielsweise einem Automobilkäufer, sichtbaren Bereich.

Die Erfahrung zeigt, dass die letzte Stunde der klassischen Durchlauf-Thermoprozessanlagen noch lange nicht geschlagen hat, auch in der effizienzoptimierten Smart Factory eher das Gegenteil.

Los- und Rezeptwechsel

Dies bedeutet allerdings nicht, dass Flexibilität kein Thema ist. Bei einem Loswechsel⁶ (anderes Werkstücklos, aber gleiche Wärmebehandlungsparameter) muss in Durchlaufanlagen je nach Transportsystem eine Chargentrennlücke gefahren werden, um Teilemischungen zu verhindern. Je nach Transportsystem und Transportbehälterwechselzeiten sind Chargentrennlücken unterschiedlich lang. Chargentrennlücken werden wie die Werkstücke innerhalb einer Thermoprozessanlage elektronisch verfolgt und gesteuert.

Rezeptwechsel⁷ sind meist mit langen Umstellzeiten verbunden. Das heißt, Thermoprozessanlagen sind diesbezüglich in ihrer Flexibilität eingeschränkt. Jeder Rezeptwechsel erfordert vorberechnete Chargenlücken (Produktionslücken), in denen beispielsweise 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 quasi virtuelles Abbild der wesentlichen Parameter, beispielsweise Temperaturgradienten, Zonenzuordnungen, Meldungsortzuordnungen, etc. (vgl. Absatz Cyber-System). Solche automatischen Los- und Rezeptwechsel sind Stand der Technik.

Werkstückpositionsverfolgung („Track & Trace“)

Allen Thermoprozessanlagen ist gemeinsam, dass übliche Materialtransportbehälter mit maschinenlesbaren Informationsträgern, beispielsweise Gitterboxen mit Barcodes auf Begleitpapieren den hohen Temperaturen nicht standhalten können. Das heißt, die zu wärmebehandelnden Werkstücke müssen entweder direkt auf das Transportsystem (beispielsweise in Band- oder Rollenherdöfen) oder auf spezielle hitzebeständige Transportgestelle (beispielsweise in Durchstoß- oder Ringherdofenanlagen) umgeladen werden. Werkstücke und begleitende Informationsträger werden an dieser Stelle voneinander getrennt.

⁶ Ein Fertigungslos ist eine Menge von identischen Teilen, die zusammen hergestellt werden.

⁷ Der gesamte Parametersatz (Sollwerte) für die Wärmebehandlung eines spezifischen Werkstücks wird als Rezeptur bezeichnet. Typische Rezeptparameter sind Chargievorgaben, Temperatursollwerte, Durchlaufzeiten und C-Pegelsollwerte.

Nach der Wärmebehandlung werden 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 Smart Factory nicht vermeiden lassen! Die Methode der elektronischen Chargenverfolgung hat sich aber schon seit einigen Jahrzehnten bewährt und muss daher nicht infrage gestellt werden.

In der Automobilindustrie und bei deren Zulieferern werden Werkstücke zunehmend mit einem „eingravierten“ Data Matrix Code bezeichnet. Dies ermöglicht dann im Zusammenwirken mit dem Wärmebehandlungsnachweis die Nachverfolgung inklusive des Thermoprozesses für jedes einzelne Werkstück auch noch lange nachdem das Werkstück die Fabrik verlassen hat, beispielsweise bei Reklamationen.

Wärmebehandlungsnachweis

Gerade bei der Wärmebehandlung, die man einem wärmebehandelten Bauteil nicht ohne Weiteres ansieht, ist die Konformität der Produkte und Prozesse zu ihren Spezifikationen und Behandlungsvorschriften zu wahren und deren Einhaltung lückenlos zu dokumentieren. Beim Thermoprozess hat sich hierfür die Bezeichnung Wärmebehandlungsnachweis eingebürgert.

Dabei entstehen aus Gründen der Rückverfolgungsmöglichkeit große Datenmengen, die in den SPS nicht mehr wirtschaftlich gespeichert, verarbeitet, bzw. ausgewertet werden können. Daher ist es sinnvoll, dass diese an übergeordnete Prozessleitsysteme mit fälschungssicheren Datenbanken, beispielsweise an FOCOS ausgelagert werden.

Zukünftig wird es vermehrt darum gehen diese Daten darüber hinaus noch weiter zu verwerten, beispielsweise um auch Zusammenhänge mit anderen Ereignissen zu analysieren. Eine zukünftige Speicherung der „Rohdaten“ für die Wärmebehandlungsnachweise in der Cloud ist daher naheliegend.

Ressourcenoptimierter Betrieb

Thermoprozessanlagen benötigen sehr viel Energie. Mit hocheffizienten Gasbeheizungssystemen und Wärmehückgewinnung wurde schon viel erreicht. Intelligente Optimierungsassistenten können nun helfen die Ressourceneffizienz weiter zu verbessern.

Viele Thermoprozessanlagen laufen selbst in längeren Fertigungspausen, wie Freischichten und am Wochenende, mit hohem Energieverbrauch weiter. Um langes Anfahren der Anlage zu vermeiden, bleibt die Anlage so wie sie ist eingeschaltet. Sich selbst organisierende Anlagen in einer Smart Factory kennen ihre Umstellparameter und können über ihren eigenen Tellerrand hinausschauen. Damit erge-

ben sich bessere Möglichkeiten den Energieverbrauch in Fertigungspausen automatisch zu reduzieren. Wenn die Anlage oder Anlagenteile gezielt in einen energiesparenden Zustand geschaltet werden können, lässt sich nämlich sehr viel Energie einsparen.

Softwareagenten werden den Prozess und seinen Ressourceneinsatz automatisch analysieren. Der Benutzer soll dann die Analyseergebnisse verständlich präsentiert bekommen. Weichen beispielsweise Prognose und aktueller Ressourceneinsatz signifikant voneinander ab, wird eine Anomalie angezeigt. Eine durch Big Data ermöglichte Korrelation der Energieverbräuche mit verschiedenen Betriebsarten der Anlage wird zudem das Handeln unterstützen.

Deutlich stärker in den Fokus rücken dann auch die Lebenszykluskosten. Investitionen in Anlagen werden in Zukunft mehr danach bewertet, welche Kosten sie während ihrer gesamten Lebenszeit verursachen, d.h. für Betrieb, Wartung, Modernisierung und Recycling.

Mensch-Maschine-Kommunikation

Für die interaktive Kommunikation zwischen Mensch und Maschine stehen auch schon heutzutage eine ganze Reihe von Technologien (Human Machine Interfaces, kurz HMI) zur Verfügung. In den letzten Jahren hat sich für HMI ein deutlicher Trend hin zu Touchscreens etabliert.

Auch an mobilen Bedienstationen, beispielsweise Smartphones oder Tablets, kommt man kaum mehr vorbei. Insbesondere der Service ist für den Einsatz von Tablets prädestiniert. Über die reine Bedienung und Beobachtung hinausgehende 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 Thermoelemente und Sauerstoffsonden, insbesondere deren Kalibrierdaten und Offsets über eine WLAN-Verbindung auf Tablets übertragen werden.

Die von Aichelin optional lieferbare Bildidentifikation mithilfe eines Tablets ist ein weiteres Beispiel dafür, dass die Zukunft moderner Mensch-Maschine-Kommunikation schon längst begonnen hat. Die im Tablet integrierte Kamera bzw. die Magic Lens Software (© Imagination Computer Services Ges.m.b.H.) erkennt wichtige Bauteile und erweitert sie im Kamerabild um zusätzliche Informationen. Solche Informationen können Texte, Bilder, Videos oder sogar aufwendige Animationen sein⁸. Der Instandhaltung stehen damit direkt am Einbauort alle notwendigen Informationen und Hilfen zur Verfügung [9].

Darüber hinausgehend können aus dem Cyber-System beispielsweise auch die Schaltpläne, die Bedienungsanleitung oder Ersatzteillisten abgerufen werden. Obwohl die

⁸ Beispiel siehe: <http://www.magiclensapp.com/de/noxmat/>

Instandhaltung sehr von technischen Dokumentationen abhängig ist, stehen diese nämlich nur selten an der Anlage zur Verfügung.

NEUE SMART SERVICES FÜR THERMO-PROZESSANLAGEN

Obwohl in diesem Kapitel nicht weiter darauf eingegangen wird, muss gleich zu Beginn betont werden, dass die traditionellen Servicedisziplinen Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Verbesserung auch in einer Smart Service Welt die Basis für die Instandhaltung sind und bleiben. Gerade in den traditionellen Servicedisziplinen gibt es eine ganze Reihe von neuen und zusätzlichen Herausforderungen. Beispielsweise müssen die immer komplexeren Systeme instand haltbar bleiben, obwohl die verschiedenen Komponenten einer kompletten Anlage sehr unterschiedliche Lebensdauern aufweisen. Dazu nutzt die moderne Instandhaltung auch neue Informationstechnologien, beispielsweise Smartphones, Tablets oder PDA, um mobil sein zu können, RFID oder Data Matrix Codes zur fehlerfreien Bauteilidentifikation und Cloud-Computing, damit Information ortsunabhängig zur Verfügung steht.

Schlüsseldisziplin Wissensmanagement

Intelligenter Service setzt auch wissende Mitarbeiter voraus. Wissensmanagement in der Instandhaltung ist schon lange Schlüsseldisziplin [10]. Insbesondere erfordern Serviceinnovationen auf Basis von Big Data entsprechend qualifiziertes Personal, welches idealerweise den vorhandenen klassischen Service mit den Big Data Potenzialen zusammen denken kann. Der Serviceanbieter oder Instandhalter der Zukunft wird nicht nur für das Lebenszyklusmanagement von Bauteilen und Anlagen zuständig sein, sondern auch als Manager von zukunftsfähigen neuen, smarten Servicekonzepten im Unternehmen agieren.

Voraussetzungen für Smart Services

Nun zu den neuen Smart Services: Die Verschmelzung von internetbasierten und physischen Serviceleistungen sind eine übliche Definition für Smart Services.

Eines der wesentlichen Ziele des Smart Services ist es (zumindest aus Sicht eines Anlagenherstellers) seine Maschine oder Anlage mit ihren Bauteilen und Daten, über deren gesamten Life-Cycle zu begleiten. Bindeglied ist das Internet.

Das Wartungspersonal oder der Hersteller einer Anlage kann die massenhaft generierten Daten auswerten und Maßnahmen, beispielsweise für die Instandhaltung, ableiten. Aber dies ist erst der Anfang. Es ist absehbar,

dass Maschinen- und Anlagenbauer Apps mit Zusatzfunktionen rund um ihre Anlagen entwickeln. Eine solche App könnte beispielsweise eigenständig Instandhaltungsmaßnahmen vorschlagen.

Dies alles ist allerdings leichter gesagt als getan. Der Zugang zum Internet wird in der Fabrik oft rigoros eingeschränkt, bzw. ganz untersagt, weil der Betreiber den potenziell möglichen Missbrauch schon im Grundsatz verhindern will. Um es auf den Punkt zu bringen: Ohne Internetzugang wird es neue Smart Services nicht geben.

Big Data Applikationen

Big Data bietet ein enormes Potenzial und zahlreiche Möglichkeiten für neue Smart Services.

Derzeit arbeiten die meisten Automatisierungssysteme proprietär, beispielsweise Frequenzrichter für Antriebe. Diese Systeme behalten ihre Daten in der Regel für sich. Informationen zu Strom, Spannungswerten, Drehzahl oder Position werden zwar gemessen und in Echtzeit verarbeitet, sie werden aber nicht gespeichert. Besonders die Veränderung des Stromwerts über die Zeit wäre zur Zustandsbeurteilung des Antriebs durchaus interessant. Die Speicherung mit späterem Zugriff auf dieses große Informationspotenzial ist aber erst einmal sehr aufwendig und wird daher nicht weiter in Betracht gezogen.

Solche und ähnliche Big Data Anwendungen liegen aber gar nicht so fern. Es gibt sie bereits. Wie in **Bild 4** dargestellt kann beispielsweise IBM aus Big Data relevante Informationen für die Produktionsoptimierung, die vorausschauende Instandhaltung und die Prognose von Serviceintervallen gewinnen [11].

Derartige Big Data Applikationen können Probleme aufdecken, noch bevor die Anlage ineffizient läuft oder

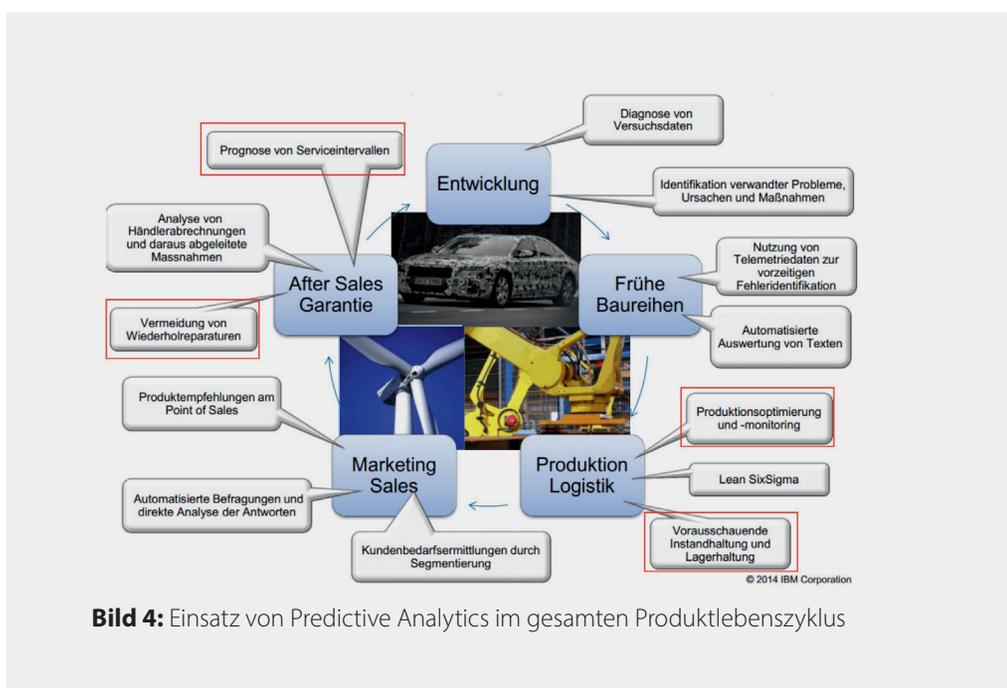


Bild 4: Einsatz von Predictive Analytics im gesamten Produktlebenszyklus

gar ausfällt. Big Data Analysen könnten auch zur Effizienzoptimierung genutzt werden, wenn die Auswertung in nahezu Echtzeit geschieht, sodass die Ergebnisse der Analyse direkt in die Prozesssteuerung einfließen. Denkbar wäre auch ein Anomalie-Erkennungssystem welches suboptimale Energieverbräuche (z. B. aufgrund schadhafter Wärmedämmung) automatisch erkennt.

Es wird nun darauf ankommen, dass die Instandhaltung von Thermoprozessanlagen den sich abzeichnenden Trend aus dem Maschinenbau auch für ihre Belange nutzt, in entsprechende Zukunftsprogramme investiert und eigene Erfahrungen sammelt.

Vorausschauende Instandhaltung

Laut einer branchenweiten Umfrage des Fraunhofer-Instituts für Intelligente Analyse- und Informationssysteme ist die vorausschauende Instandhaltung schon bald die wichtigste Big Data Anwendung in der Industrie.

Die derzeit noch weit verbreitete zustandsabhängige Instandhaltung hat nämlich einen riesigen Nachteil: Sie ist auf die wenigen Bauteile beschränkt, bei denen sich Zustandsveränderungen überhaupt inspizieren oder mit Condition Monitoring erkennen lassen. Das sind leider die Wenigsten [12]!

Multiple Schädigungsursachen und -wirkungen sind oft sehr komplex miteinander verwoben. Betriebszeit oder Betriebszyklen sind zwar wichtige Einflussgrößen, aber nicht die alleinigen und auch nicht immer. Häufig sind Bauteilausfälle überhaupt nicht von der Betriebsdauer abhängig, sondern von anderen Ereigniszusammenhängen, die wir heute oft noch nicht kennen.

Big Data kann, wie einige Anwendungen bereits zeigen, solche Zusammenhänge aufdecken. Das funktioniert, weil in eine Anlage hunderte Sensoren eingebaut sind, die alle erdenklichen Parameter messen. Sie zyklisch zu speichern ist noch relativ trivial, anspruchsvoll hingegen ist ihre Interpretation. Hier werden zukünftig sogenannte Smart Data Algorithmen (z. B. bei IBM Predictive Analytics) helfen [11].

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

Smarte Ersatzteile mit Produktgedächtnis

In Anbetracht des allgegenwärtigen Kostendrucks werden Lebenszykluskosten zukünftig eine noch größere Rolle spielen. Die Rückgewinnung bzw. Wiederverwertung von aufbereiteten Bauteilen ist dabei ein wichtiger Baustein.

Das Problem dabei ist, dass Bauteile bisher kein Produktgedächtnis haben. Mit dem Ausbau einer Baugruppe aus

der Anlage, beispielsweise eine Ofentür, verliert die ganze Baugruppe mit allen zugehörigen Bauteilen ihre im PLS geführte Historie, beispielsweise die bisherige Betriebsdauer oder Fehlerstatistik. Die Historie wird entweder gelöscht, oder ist noch häufiger für das ersatzweise eingebaute Bauteil von Beginn an falsch. In jedem Fall gehen der vorausschauenden Instandhaltung wichtige Daten verloren.

Smarte Ersatzteile können ihre eindeutige Kennung entweder auf einem RFID-Chip oder mit einem Data Matrix Code mit sich tragen. Ihr digitales Gedächtnis liegt auf ihrem digitalen Zwilling in der Cloud. Selbst Reparaturen und wechselnde Einsatzorte können so über den gesamten Lebenszyklus aktualisiert und nachverfolgt werden. Dies gilt sogar mit geringen Einschränkungen auch für komplexe Baugruppen, beispielsweise einen Gasumwälzer mit all seinen Bauteilen vom Motor bis zum Flügelrad. Eingeschränkt deshalb, weil strenggenommen im Prinzip jedes einzelne Bauteil einer Baugruppe eine eigene Kennung erhalten sollte.

FAZIT

Für den Übergang in die Industrie 4.0, so könnte man nach einer ersten oberflächlichen Beschäftigung mit dem Thema meinen, reicht es aus, sämtliche Maschinen und Anlagen mit IP-Adressen auszustatten und internetfähig zu machen. Die fortgeschrittene Automatisierungstechnik erledigt dann den Rest. Die Sachlage ist aber doch um einiges komplexer. Die Vernetzung über das Internet ist nur ein evolutionärer Teilaspekt, der ja auch schon heute praktiziert wird.

Revolutionär hingegen ist die angestrebte Funktionalität der Smart Factory mit ihren Cyber-Physical Produktions-Systemen, smarten Produkten und Cloud-Computing. Es geht um nicht weniger als um eine flexible und dabei hocheffiziente, sich selbst organisierende Produktion, die der heutigen Produktion in allen Belangen überlegen ist. Thermoprozessanlagen sind davon nicht ausgeschlossen! Das Ziel ist die selbstständige Kommunikation der Werkstücke mit den sie bearbeitenden Maschinen und Anlagen. Begleiter auf dem Weg zum Ziel sind Big Data und Smart Services.

Der umfassende Einzug des Internets in die Fabriken prägt die Herausforderungen auch in der Instandhaltung. Industrie 4.0 stellt enorme Herausforderungen dar, beispielsweise die Sicherstellung der Wartbarkeit der IT-Systeme über einen langen Lebenszyklus. Industrie 4.0 bietet aber auch unglaubliche Chancen. Beispielsweise wird Big Data neue Smart Services ermöglichen, an die wir heute noch gar nicht denken.

Revolutionäre Entwicklungen fallen nicht vom Himmel. Wir müssen frühzeitig die richtigen Weichen stellen. Wir entwickeln heute die Anlagen mit einer Einsatzdauer bis mindestens 2035. Parallel dazu müssen wir einen großen Altanlagenbestand berücksichtigen. Sowohl bei neuen Anlagen als auch bei den Altanlagen sind wir noch weit

entfernt von Industrie 4.0-konformen Thermoprozessanlagen. Einiges ist zwar bereits auf den Weg gebracht, von heute aus betrachtet ist es aber trotzdem noch ein sehr weiter Weg.

Die Einführung muss bzw. wird zweigleisig erfolgen: für Neuanlagen und für Anlagen im Bestand durch Retrofits. Angefangen wird eher mit kleinen Inseln, also in abgegrenzten Produktionsbereichen. Dabei wird es wichtig sein, nicht gleich die Hundert-Prozent-Lösung anzustreben. Es ist sinnvoller, sich überhaupt auf den Weg zu machen und schrittweise das, was einen konkreten Nutzen hat, zu realisieren.

Die Gefahr, dass Industrie 4.0 ein ähnliches Schicksal erleidet wie CIM ist nicht ganz von der Hand zu weisen. Die Fähigkeit zur Selbstorganisation, die Standardisierung der Schnittstellen für die M2M-Kommunikation und besonders die IT-Sicherheit werden die Prüfsteine sein.

LITERATUR

- [1] 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
- [2] Steck-Winter, H.; Bachem, H.: Konzept und Realisierung einer automatischen Härterei, HTM 45 (1990-3), München 1990
- [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.; Unger, G.: Steuern, Regeln, Überwachen und Visualisieren von Thermoprozessanlagen. In Praxishandbuch Thermoprozesstechnik Band II, 2. Auflage, S. 959-962, Vulkan Verlag Essen, 2011
- [7] Steck-Winter, H.: Sichere Thermoprozessanlagen 2.0. gwi – gaswärme international Nr. 5-2012, Vulkan Verlag Essen, 2012
- [8] Steck-Winter, H.; Unger, G.: Anforderungen an eine CQI-9 konforme Automatisierungstechnik. gwi – gaswärme international Nr. 4-2009, Vulkan Verlag Essen, 2009
- [9] Imagination Computer Services GesmbH: Magic Lens, <http://www.magiclensapp.com/de/>
- [10] Filounek, A.; Steck-Winter, H.: Wissensmanagement bei der Instandhaltung von Thermoprozessanlagen. In gwi - gaswärme international Nr. 3-2014, Vulkan Verlag Essen, 2014
- [11] IBM: Lösungen und Software für Predictive Analytics, <http://www-01.ibm.com/software/de/analytics/spss/>
- [12] Steck-Winter, H.: Vorausschauende Instandhaltung von Thermoprozessanlagen. gwi – gaswärme international Nr. 3/2011, Vulkan Verlag Essen, 2011

AUTOREN



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



Ing. Günther Unger
Aichelin Ges.m.b.H
Mödling
Tel.: 0043/ (0) 2236/ 23646 -275
guenther.unger@aichelin.com

Widmung

Dieser Fachbeitrag ist Heinz Berger gewidmet der am 4.2.2015 verstorben ist. Heinz Berger war von 1952 bis 1997 geschäftsführender Gesellschafter bei AICHELIN in Korntal und bis 2013 Gesellschafter der AICHELIN-Gruppe.