

Kapitel 1

Einführung

Bedingt durch die Trends in der Wirtschaft und der voranschreitenden technologischen Entwicklung sind produzierende Unternehmen künftig immer mehr mit wachsender Komplexität in der Fabrik konfrontiert. Schnelle Veränderungen des Marktes erfordern eine hohe Agilität des Produktionsmanagements und der Fabrikgestaltung, welche nur durch die Realisierung von Wandlungsfähigkeit effizient und zuverlässig möglich ist. Als vielversprechender Lösungsansatz gelten cyber-physische Systeme (CPS). Unter dem Begriff Industrie 4.0 prägen sie im Kontext der Fertigung seit geraumer Zeit die Diskussionen. Durch lokale Informationsverarbeitung und weitreichende Vernetzung bieten sie neue Gestaltungsmöglichkeiten (z. B. wandlungsfähige Produktionsanlagen) und Potenzial, der zunehmenden, multi-dimensionalen Komplexität durch Dezentralisierung (z. B. von Steuerungsaufgaben) adäquat begegnen können. Allerdings ist die Realisierung von cyber-physischen Produktionssystemen (CPPS) noch nicht in dem Maße fortgeschritten, wie es die technologische Entwicklung bereits erlauben würde. Dies liegt unter anderem darin begründet, dass es bisher nicht gelungen ist, den erwachsenden Nutzen für eine konkrete Fabrik mit ihren spezifischen Rahmenbedingungen ausreichend aufzuzeigen und den notwendigen Investitionen gegenüberzustellen. Es fehlt an geeigneten Methoden und Verfahren zur Validierung des individuellen Nutzens des cyber-physischen Ansatzes.

An dieser Stelle setzt die vorliegende Arbeit an: Intention ist die Entwicklung eines Konzeptes zur Validierung von CPS in den komplexen Systemen der Fabrik und seiner Umsetzung als Werkzeug. Die folgenden Abschnitte dieses Kapitels dienen zur Konkretisierung und Belegung der genannten Aussagen. So erfolgt zunächst die

weitere Ausführung von Motivation und Problemstellung sowie die Präzisierung der Zielstellung und deren Praxisrelevanz. Anschließend werden die Forschungsfragen formuliert und die wissenschaftliche Einordnung vorgenommen. Den Abschluss bilden die Beschreibung der gewählten Methodik bzw. des Forschungsdesigns und die Darlegung des resultierenden Aufbaus der Arbeit.

1.1 Motivation

Für ein erfolgreiches Bestehen am Markt stehen produzierende Unternehmen ständig vor neuen Herausforderungen. Ursache sind nicht zuletzt gesamtgesellschaftliche Entwicklungen und Phänomene, die als Rahmenbedingungen auf die industrielle Produktion wirken. Westkämper verweist in diesem Zusammenhang auf sogenannte Megatrends als Treiber der Veränderungen: Demographischer Wandel und Individualisierung, Wissen, Nachhaltigkeit, Globalisierung und Urbanisierung, Finanzen und Verschuldung der Staaten [Westkämper 2013, S. 7f]. Der aktuelle und zukünftige Markt für produzierende Unternehmen charakterisiert sich wie folgt [vgl. Wiendahl u. Lutz 2002, S. 574]:

- Hochgradige Kundenorientierung erfordert große Variantenvielfalt und hohe Qualität der Produkte sowie geringe Lieferzeiten.
- Wechselnde Kundenanforderungen resultieren in kurzen Innovations- und Produktlebenszyklen.
- Der globale Wettbewerb sorgt für erhöhte Relevanz der lokalen Standortfaktoren und den Zwang zur Kostenreduzierung.

Kundenindividuelle Produkte ziehen eine hohe Variantenvielfalt nach sich. Starke Nachfrageschwankungen, kurze Produktlebens- und Innovationszyklen sowie rascher technologischer Fortschritt erfordern ständige Anpassungen der Fertigung und führen zu hoher Komplexität des Produktionsmanagements. Wandlungsfähigkeit und Robustheit gegenüber sich kontinuierlich verändernden Umgebungsbedingungen gewinnen an Bedeutung [Gronau 2014b, S. 23], bedürfen aber geeigneter Gestaltungsmittel und Lösungswege zur permanenten und schnellen Anpassung der inneren Organisation und Technik [Westkämper u. Zahn 2009, S. 1]. Wandlungsfähige Produktionssysteme gestatten den effizienten Umgang mit der intern oder extern induzierten Dynamik und Komplexität [Scholz-Reiter u. Sowade 2011, S. 9].

Die Wandlungsfähigkeit wird zum bestimmenden Erfolgsfaktor für Unternehmen. Basierend auf dieser Erkenntnis ergibt sich die Frage, wie diese Wandlungsfähigkeit als Schlüsseleigenschaft technisch und organisatorisch in der Fabrik umgesetzt und unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten realisiert werden kann.

Durch die allgemeine Verfügbarkeit von elektronischer Rechentechnik seit den 1960er Jahren sind bereits diverse Automatisierungs- und Computersysteme in den Fabriken im Einsatz. Die Betrachtung der tatsächlichen Informations- und Planungsabläufe produzierender Unternehmen (beispielsweise mit Hilfe der Wertstromanalyse) zeigt jedoch, dass selbst einfachste Produktionsprozesse (z. B. Spritzguss mit Granulat, Trocknung und Lackierung) häufig sehr komplexe Abläufe für Planung und Steuerung erfordern. Allerdings sind diese Abläufe geprägt von IT-Insellösungen (BDE-System, CAQ-System, Werkzeugverwaltungssystem, Instandhaltungssystem etc.), zahlreichen Excel-Listen, vielen Papierdokumenten und häufigen Produktionsbesprechungen. Abbildung 1.1 zeigt diesen Sachverhalt am Beispiel eines Fertigungsprozesses als Wertstromdiagramm. Des Weiteren führen notwendige oder gewachsene Anpassungen an einer als Standardsoftware klassifizierten Anwendung zu erheblichen Aufwänden bei der Validierung innerhalb der Produktionsanlage [vgl. Gottschalk et al. 2010, S. 139]. Eine Reduzierung des Wirkungsgrads des Produktionsmanagements, d. h. mangelnde Transparenz, Reaktionsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit, ist die Folge. Die eingesetzten Computersysteme wirken nur unzureichend im Sinne der genannten Ziele.

Um diesem Phänomen entgegenzuwirken, entstanden Manufacturing Execution Systeme (MES) als fertigungsnahe IT-Komponente. Durch die Integration vor allem der Funktionen der Bereiche Fertigung, Personaleinsatz und der Qualitätssicherung soll die notwendige Transparenz für eine datenbasierte Planung, Ausführung und Auswertung sowie die übergreifende Sicht auf die Produktion für zielführende Entscheidungsfindung und -ausführung geschaffen werden [vgl. Deisenroth et al. 2015, S. 20f]. MES wirken als gemeinsames Datenrepository und übergreifende Koordinationsinstanz. Unter diesem Gesichtspunkt sind sie primär dem zentralen Gestaltungsparadigma zuzuordnen und insbesondere hinsichtlich ihres effektiven Einsatzes auf die Qualität der bereitstellenden Datenlieferanten und auf die IT-taugliche Organisation der Prozesse angewiesen. Infolgedessen ist die Einführung im Unternehmen häufig mit Schwierigkeiten behaftet und wenig skalierbar. MES

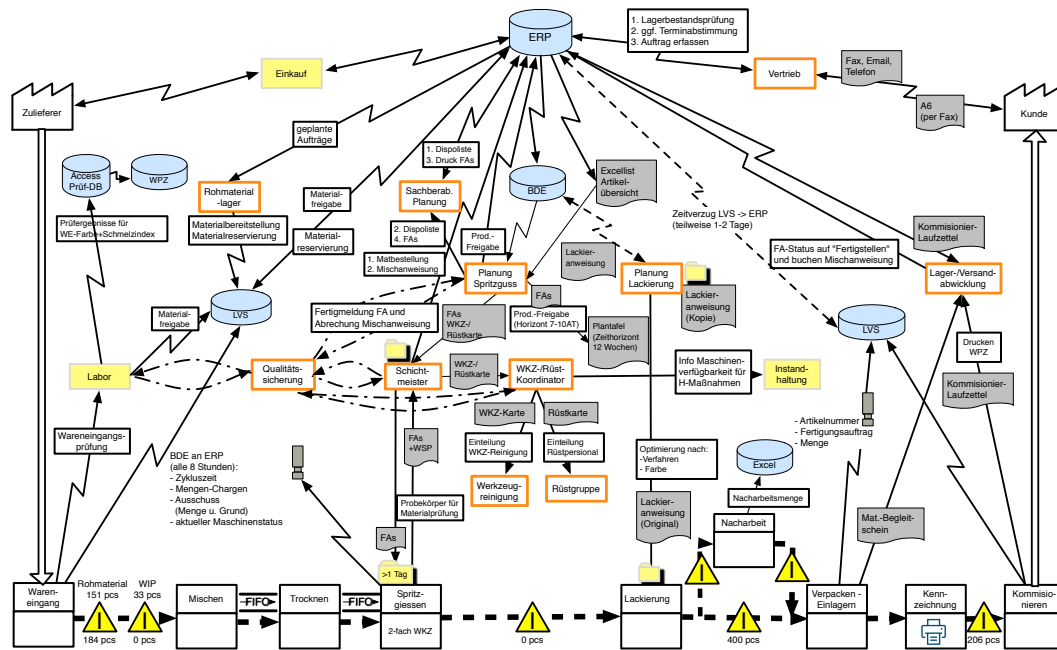


Abb. 1.1: Informations- und Planungsabläufe eines Fertigungsprozesses [Deisenroth et al. 2015, S. 3]

scheinen durch ihren zentral orientierten Ursprung nicht die Antwort zur Realisierung von Wandlungsfähigkeit und zur Beherrschung der Komplexität darzustellen.

Insgesamt stoßen im Anwendungskontext Produktionsmanagement rein zentrale, hierarchisch organisierte Systeme immer häufiger an ihre Grenzen und werden auf Grund dessen für Planung, Steuerung und Kontrolle von Produktionssystemen stark an Bedeutung verlieren [Gronau 2014a, S. 287]. Hinzu tritt die zu beobachtende Zunahme der Anzahl am Produktlebenszyklus Beteiligten, die stärker verzweigte Netzwerke erfordert, um Effizienzverluste zu vermeiden [Baum 2013, S. 45].

Potenziale zur Realisierung wandlungsfähiger Fertigung bieten neue Technologien (u. a. CPS, AutoID) und neue Strategien des Produktionsmanagements. Dezentrale Organisationsparadigmen versprechen mit Hilfe lokaler Entscheidungsfindung mittels intelligenter und autonom agierender Komponenten die Adressierung der genannten Herausforderungen. CPS als nahtlose Verknüpfung von realer und virtueller Welt stellen ein geeignetes Mittel zur Beherrschung hoch komplexer und dynamischer Anwendungsgebiete dar, in denen herkömmliche Systeme an ihre Grenzen stoßen [vgl. Gronau 2014a, S. 284f]. Die Fertigungsplanung und Produktionssteuerung mit ihren umfassenden Aufgaben und vielschichtigen Rahmenbedingungen sind mögliche

Wirkbereiche von CPS [acatech 2012, S. 53], die aufgrund der genannten Potenziale als Instrument für die Bewältigung aktueller und zukünftiger Anforderungen an das produzierende Gewerbe dienen können. Mit Hilfe von CPS und deren Vernetzung sind unter Nutzung von neuen Paradigmen der dezentralen Steuerung CPPS realisierbar, die eine echtzeitfähige Produktionsplanung und die Ad-hoc-Gestaltung von Prozessen bieten.

Unter dem Begriff *Industrie 4.0* wird diese Idee intensiv diskutiert und nach der Mechanisierung mit Wasser- und Dampfkraft, der Massenfertigung mit Hilfe von Fließbändern und elektrischer Energie und dem Einsatz von Elektronik und Informationssystemen zur Automatisierung der Produktion als die vierte industrielle Revolution propagiert. Der Begriff elaboriert eine Abkehr von der klassischen automatisierten Fabrik, die große Mengen gleichartiger Produkte auf der Basis zentraler Produktionspläne herstellt. Vision ist die selbstorganisierte Fabrik, in der intelligente und teilautonome Objekte interagieren und es gelingt, die zunehmende Individualisierung der Produkte mit den Vorteilen von Großserienproduktion zu verbinden (Mass Customization). Das Industrie 4.0 Konzept setzt innerhalb der Produktionsorganisation und -steuerung auf Technologien zur Gestaltung dezentral gesteuerter Produktionsanlagen mit intelligenten und selbststeuernden Elementen in der Werkhalle [acatech 2011]. Wesentliche Charaktermerkmale sind die Verwendung von CPS und die Vernetzung deren Elemente zum *Internet der Dinge* sowie ergänzend die verbesserte Mensch-Technik-Interaktion (MTI) bzw. Human Machine Interaction (HMI). Mit dem Internet der Dinge (IoT) erlangen im Kontext der Fertigungsplanung und Produktionssteuerung dezentrale Ansätze und Organisationsprinzipien sowie deren Realisierung durch verfügbare Technologien und Konzepte besondere Bedeutung.

Trotz existierender Technologien zur dezentralen Steuerung von Fertigungs- und Montageeinrichtungen und zur Realisierung von autonomen Komponenten sind diese noch nicht in dem Maße verbreitet, in dem sie zur Wettbewerbsfähigkeit, Effizienzsteigerung und Wirtschaftlichkeit von Fertigung und Montage beitragen könnten [vgl. Gronau 2006, S. 62]. Das liegt insbesondere daran, dass es bisher nur mit großen Schwierigkeiten möglich ist, für eine gegebene Produktionssituation zu entscheiden, welcher Grad an Autonomie bei den eingesetzten Informationssystemen und Produktionsobjekten eine Verbesserung gegenüber den bisher häufig genutzten zentralen Planungsverfahren und manuellen Verwaltungsansätzen darstellt [Gronau