

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung**

**PPS (Produktionsplanung/-steuerung), Informationsmanagement**

# Transparente Produktionsprozesse

**Informationserfassung mittels Retrofitting von Bestandsanlagen**

**R. Müller, L. Hörauf, C. Speicher und D. Burkhard**

*Die Produktion nach Kundenwunsch erhöht die Komplexität in der industriellen Produktion und deren Steuerung. Informationen aus verschiedenen Bereichen und Prozessen sind notwendig, um den Verantwortlichen eine Assistenz in der Produktion zu bieten. Der Beitrag beschreibt das Retrofitting von Materialwagen zum automatisierten Erfassen und Lokalisieren von Beständen in der Produktion von Weißer Ware zur Unterstützung der Steuerungsprozesse mittels Manufacturing Execution System (MES).*

**Transparent production processes – Information gathering through retrofitting of existing machinery for the transparent control of production processes**

*Production according to customer requirements increases the complexity and control effort in industrial production. Information from different production areas and processes is necessary to assist those employees in production. The article describes the retrofitting of material shuttle for automated gathering and localization of material in the production of white goods to support the control processes in production via a Manufacturing Execution System (MES).*

## 1 Einleitung und Problemstellung

Durch die zunehmende Globalisierung der letzten Jahre haben sich für Unternehmen weltweit neue Herausforderungen eingestellt [1]. Schwankende Nachfragekurven mit Stückzahlen

bis Losgröße 1, kürzere Produktlebenszyklen sowie der Trend zu individualisierten Produkten fordern wandlungsfähige und flexible Produktionsprozesse. Als entscheidende Zielgröße in der industriellen Produktion gelten weiterhin die Faktoren Qualität, Kosten und Zeit [2]. Um diese Zielgrößen zu optimieren, wurden Lean Management Systeme entwickelt. Aufgrund des großen Erfolges des Lean Ansatzes ist er mittlerweile bei den meisten Unternehmen zur Unternehmensphilosophie geworden [3]. Lean verwendet Methoden und Verfahrensweisen zur effizienten und einfachen Gestaltung von Arbeitsprozessen. Bei den heute vorliegenden und oftmals komplexen Prozessen der Produktion stoßen jedoch sowohl der Lean Lösungsansatz als auch der Mensch immer häufiger an ihre Grenzen [4]. Es liegt auf der Hand, dass mit Zunahme der Komplexität von Produkten und Produktionsprozessen neue Ansätze gefunden werden müssen, die ein effektives und effizientes Produktionsmanagement ermöglichen [5]. Die Digitalisierung der Produktion durch den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien bietet sich heute an, um auf Grundlage von Informationen die Produktion transparenter und dadurch die Prozesse in der Produktionsplanung und -steuerung effizienter zu gestalten [6]. Durch die Maschinendatenerfassung an vernetzungsfähigen Anlagen oder durch die Aufrüstung von bestehender Infrastruktur mit Sensoren, Kommunikations- und Informationstechnologien (Retrofit) lassen sich Daten medienbruchfrei halb- sowie vollautomatisiert erheben. Durch softwaregestützte Produktionsmanagementsysteme können diese Daten dem Anwender in aufbereiteten Kennzahlen visualisiert werden. Dadurch wird in der Produktion mehr Transparenz geschaffen und auf Grundlage dessen die Reaktionsfähigkeit gesteigert [7], sodass der Mitarbeiter im Rahmen seiner Aufgaben durch eine aktuelle Informationsgrundlage unterstützt werden kann. Nachfolgend wird das Retrofit von Materialwagen und Bestandsanlagen in der Produktion Weißer Ware thematisiert, mit dem Ziel die Informationsqualität in der Produktion zu erhöhen.

## 2 Anwendungsfall und Vorstellung der Ziele

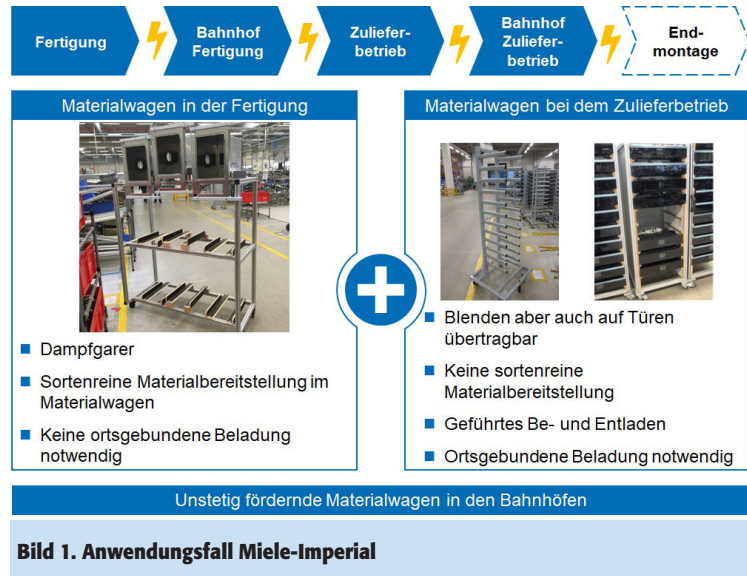
Ziel des Forschungsprojektes NeWiP „Neue Wege der informationsgeführten Produktion“ besteht unter anderem darin, an kritischen Prozessen der Wertschöpfungskette dezentrale Cyber-Physische Systeme zu implementieren, die die Medienbrüche zwischen dinglicher und virtueller Welt schließen, sodass aktuelle und umfassende Informationen als Basis für weitere

Prof. Dr.-Ing. Rainer Müller  
Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Leenhard Hörauf  
Dipl.-Ing. Christoph Speicher, Dirk Burkhard, M. Sc.  
ZeMA – Zentrum für Mechatronik  
und Automatisierungstechnik gGmbH  
Gewerbepark Eschberger Weg, Geb. 9  
Tel. +49 (0)681 / 85787-546  
dirk.burkhard@zema.de, www.zema.de

Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „NeWiP“ wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ (Förderkennzeichen 02P14B200 bis 02P14B205) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Services zur Verfügung stehen [8]. Ein Anwendungsfall im Forschungsprojekt ist bei der Firma Imperial-Werke oHG – einem Unternehmen der Miele Gruppe – angesiedelt. An dem Standort in Bünde werden Weiße Ware wie unter anderem Kochfelder, Dampfgarer und Wärmeschubladen in hoher Wertschöpfungstiefe, hoher Varianz und schwankenden Stückzahlen produziert. Der Fokus im Anwendungsfall liegt auf der Produktion von Dampfgarern und deren Vorfertigungs-, Fertigungs-, Vormontage- sowie Endmontagebereiche. Ein jeder Produktionsbereich greift dabei auf die Kapazitäten des vorgelagerten Produktionsbereichs zu, weswegen die Prozesse in einer wechselseitigen Beziehung zueinanderstehen. Darüber hinaus ist am Standort ein Zulieferbetrieb in den Wertstrom integriert. Der Zulieferbetrieb greift ebenfalls auf die vorgelagerten Produktionsbereiche wie unter anderem die Fertigung zu und beliefert die Endmontage mit vormontierten Baugruppen. Neben diesen komplexen Produktionsprozessen erhöhen externe Einflussfaktoren wie Schwankungen der Nachfrage oder Lieferengpässe von Zukaufteilen die Komplexität von Prozessen und damit deren Steuerungs- und Planungsaufwand. Um die zunehmende Prozesskomplexität zu beherrschen, wird in der Produktionsplanung ein zentrales Enterprise Resource Planning System (ERP) eingesetzt. Durch eine manuelle Aufnahme von Informationen in den Produktionsbereichen und deren rudimentäre und zeitversetzte Rückmeldung in das ERP, bildet das System heute jedoch nicht den aktuellen Planungsstand ab. Demzufolge wird heute oftmals mit Plandaten gearbeitet, die durch ungeplante Ereignisse wie Maschinenstörungen, Nacharbeiten oder fehlende Materialien keine qualitative Aussage über das Produktionsumfeld und Produktionsstatus wiedergeben. Um dieser Problemstellung entgegenzuwirken, wurde in dem Anwendungsfall die prototypische Einführung von drei wesentlichen Entwicklungen vollzogen. Dadurch können in der Fertigung, beim Zulieferbetrieb und der Endmontage prozessrelevante Informationen erhoben und diese der Produktionsplanung bereitgestellt werden. Zum transparenten und flexiblen Darstellen von Produktionskennzahlen ist ein Manufacturing Executive System (MES) notwendig, das aktuelle Informationen zu den Produktionsprozessen abbildet.

In diesem Beitrag werden die Aufrüstung von Bestandsmaschinen der vollautomatisierten Garraumfertigung und bestehender Materialwagen (Retrofitting) zur Erhebung von Prozess- und Maschinen-Key Performance Indicatoren beschrieben. Hierzu wird der Fokus auf den Retrofit von bestehenden Materialwagen mittels Sensoren, Kommunikations- sowie Informationstechnologien zur automatisierten Aufnahme von Informationen gelegt. Durch Retrofitting werden Informationen wie Bestände an Gutteilen im Materialwagen erhoben und deren Verortung in den Bahnhöfen der Fertigung, des Zulieferbetriebs und der Endmontage erfasst. Die Materialentnahme und -einlagerung wird durch verschiedene Technologien optisch gesteuert und durch eine Steuerung unterstützt. Die erhobenen Daten werden an ein MES übermittelt und dort als Kennzahlen aufbereitet und visualisiert. **Bild 1** gibt einen Überblick über die betrachteten Produktionsbereiche und die beiden Materialwagen, die bei den Entwicklungen betrachtet wurden.



### 3 Verbesserung der Informationstransparenz im Produktionsumfeld

Eine effiziente Reaktion auf ungeplante Ereignisse in der Produktion kann nur auf Basis von Transparenz erfolgen. Transparenz wird durch Informationen geschaffen, auf deren Grundlage Entscheidungen sicher getroffen werden können [9]. Von Bedeutung ist dabei auch die Aktualität der Informationen. Erst durch zeitnah vorliegende Informationen kann kurzfristig auf aktuelle Ereignisse reagiert und damit die Reaktionsfähigkeit des Unternehmens gesteigert werden. Als Entscheidungsgrundlage zur Reaktion auf verschiedene Ereignisse (beispielsweise Störungen, Priorisierung von Aufträgen, Materialmangel, etc.) bieten sich aktuelle Auftragsdaten wie Gutteile, Ausschussteile, abgeschlossene Aufträge, Materialbestände und Maschinenzustände, etc. an. Dazu ist die Digitalisierung und Anbindung einzelner Produktionseinheiten an ein System zur reaktiven Produktionsplanung/-steuerung (beispielsweise MES) notwendig. Ausgehend von den Restriktionen in den drei Produktionsbereichen (Fertigung, Zulieferer und Endmontage) werden im Anwendungsfall folgende Funktionen verfolgt:

- Auswertung und Visualisierung der Informationen in dem MES-Produktionsleitstand der Produktionsplanung/-steuerung.
- Erfassen von Produktions- und Qualitätsdaten (auftrags- und produktbezogen) zur Sicherstellung der Erfüllung geplanter Produktionsmengen (Fertigung, Zulieferbetrieb, Endmontage).
- Erfassen von Maschinendaten zur Kennzahlenberechnung (OEE, Produktivität, Auslastung, Qualität) sowie Erfassung von Maschinenausfällen und Störgründen (Fertigung).

Die Auswertung und Visualisierung der Informationen findet durch einen MES-Produktionsleitstand statt. In der industriellen Produktion werden heutigen MES eine entscheidende Rolle zuteil, um die Transparenz der Produktionsplanung/-steuerung auf Produktionsprozesse zu erhöhen und somit die Reaktionsfähigkeit zu steigern. Eine transparente und kontextbezogene Darstellung der aktuellen Prozesse, Bestände und verfügbaren Ressourcen ist unerlässlich. In dem Anwendungsfall wurde ein MES-Produktionsleitstand der Firma Xetics Lean prototypisch

implementiert, welche den Anwender bei der Planung und Steuerung von Produktionsprozessen optimal unterstützt. Durch den webbasierten Charakter kann das MES standort- und plattformunabhängig eingesetzt werden. Der modulare Aufbau erlaubt es, unterschiedliche Anwendungsszenarien skalierbar abzubilden. Eine intuitiv bedienbare Benutzeroberfläche macht längere Schulungstermine überflüssig und baut Hürden bei der Einarbeitung und Anwendung des Systems ab. Relevante Stamm- und Bewegungsdaten wie Produktionssaufträge, Qualitätsplandaten oder Kapazitätspläne können übersichtlich als Kennzahlen oder als Diagramme abgebildet werden. Diese Stammdaten werden durch die Anbindung an ein ERP bereitgestellt. Um den digitalen Zwilling einer Produktion abbilden zu können, werden jedoch aktuelle Daten zu Gutteilen, deren Verortung, Maschinenstörungen, etc. benötigt. Der Datenstrom und Rückmeldungen aus der Produktion existieren heute aber in der Regel nur rudimentär und ungenügend und meist in manueller Form. [10] In dem Anwendungsfall wurde in die bestehende Infrastruktur (Retrofitting) zum Erfassen von Produktions- und Qualitätsdaten eine Maschinendatenerfassung prototypisch implementiert.

Die Maschinendatenerfassung hat die Aufgabe, prozessrelevante Daten zur Kennzahlenberechnung (OEE, Produktivität, Auslastung, Qualität), Maschinenzustand und -ausfälle sowie Störgründe zu erfassen. Das Erfassen dieser Information kann sowohl manuell als auch automatisch erfolgen. In manuellen Prozessen können die Informationen an Anlagenterminals oder mittels Handscanner und Smart Devices erfasst werden. Zur automatisierten Erfassung können beispielsweise Sensoren wie Lichtschranken, Induktionssensoren, etc. eingesetzt werden. Durch Industrie 4.0 wird die vollautomatisierte und vollständige Integration dieser Datenerfassung vorangetrieben. In der Regel wurden jedoch Produktionsanlagen entwickelt, um möglichst konstant und zuverlässig über Jahre hinweg eingesetzt zu werden. So sind in den letzten Jahrzehnten Produktionsanlagen und Softwarelösungen entstanden, deren oft individuelle Integration in Insellösungen zu einem heterogenen System führte, in dem diese Transformation heute stattfinden muss. In dem Anwendungsfall wurden bestehende Altanlagen der vollautomatisierten Fertigung durch zusätzliche moderne Automatisierungshardware ausgestattet, um die notwendigen Informationen zu erheben. Um Maschinendaten der Steuerungstechnik zu erfassen und ein Retrofit der Bestandsanlagen zu ermöglichen, wurde im Anwendungsfall unter anderem ein „dataFeed uaGate SI“ eingesetzt. Hierbei handelt es sich um eine dedizierte Hardware für Retrofitlösungen von Siemens S7-Steuerungen. Die Kommunikation der Daten erfolgte im IT-Netzwerk per OPC UA, einem selbstbeschreibenden Automatisierungsprotokoll, das auf standardisiertem TCP/IP basiert und somit vollständig kompatibel zu den vorhandenen Office IT-Netzwerken ist. Zur Maschinenanbindung wird das Axoom Gate verwendet, welches über eine entwickelte Schnittstelle zu Xetics Lean, die sogenannte „Equipment Integration“ (EI), die Daten liefert. Durch die Maschinenanbindung werden ohne Eingriffe durch den Mitarbeiter prozessrelevante Daten aus der Maschinensteuerung abgegriffen und dem MES bereitgestellt. Durch den MES-Leitstand kann auf Grundlage dieser Daten eine reaktive Steuerung des Produktionsprozesses erfolgen.

Durch die Erfassung von Produktionsdaten (auftrags- und produktbezogen) werden Informationen in den Produktionsbereichen der Fertigung, des Zulieferbetriebs und der Endmon-

tage erhoben. In dem Anwendungsfall wurden dazu unstoppende Materialwagen mit Sensoren, Informations- und Kommunikationstechnologien sowie HMI ausgestattet, um Produktionsdaten zu erfassen und in dem MES bereitzustellen. Die Materialwagen befinden sich in den Logistikkbereichen in den angrenzenden Bahnhöfen der Fertigung, im Zulieferbetrieb und in der Endmontage. Durch die Aufrüstung der Materialwagen zu CPS werden aktuelle Materialbestände erfasst, der Materialwagen durch eine Identifikationsnummer eindeutig identifizierbar, die Verortung/Positionsbestimmung in den Bahnhöfen ermöglicht sowie eine Mensch-Maschine Schnittstelle zur Informationswiedergabe und Prozesssteuerung umgesetzt. Die implementierte, optische Prozesssteuerung ermöglicht zudem die sequenzierte und auftragsspezifische Beladung und Entladung der Materialwagen. Zur Umsetzung dieser Fähigkeiten stehen verschiedene Technologien zur Verfügung, welche jedoch redundante Funktionen aufweisen. So wurden im Anwendungsfall zwei Technologieträger (intelligente Materialwagen) geschaffen, die unter Abhängigkeit des Automatisierungsgrades (manuell bis automatisiert) sowie dem Implementierungsaufwand, Bestände beispielsweise durch Auf- und Abzählen mittels manueller Handscanner oder vollautomatisiert durch Positionsschalter erfassen können. Auf Grundlage der Restriktionen und Fähigkeiten wurden evolutionäre Konzepte entwickelt, die sich von Konzept zu Konzept in ihrem Automatisierungsgrad der Datenerfassung und der Informationsverarbeitung unterscheiden, siehe **Bild 2**.

Der Garraum-Materialwagen besitzt eine eigene Identifikationsnummer, welche durch das Bluetooth Signal eines Low Energy Beacon übermittelt wird. Über das gleiche Bluetooth-Signal und den daraus berechneten Received Signal Strength Indication (RSSI) erfolgt die Verortung der Materialwagen in den einzelnen Bahnhöfen der Fertigung und des Zulieferbetriebs. Über die Funktion der Verortung werden zusätzliche digitale Prozesse wie die Zuweisung eines offenen Auftrags zum Materialwagen angestoßen. Auftragsrelevante Informationen wie beispielsweise die Bauteilbezeichnung, Materialnummer und Auftragsnummer werden auf einem E-Ink Display visualisiert. Die Bestandserfassung erfolgt durch Positionsschalter, die am Ende eines Fachs befestigt sind. Beim Einschieben eines Garraums in ein Fach wird der Positionsschalter betätigt. Diese Bestandsänderung im Materialwagen wird einerseits auf dem E-Ink Display visualisiert und andererseits dem MES übermittelt. Ebenso wie der Garraum-Materialwagen besitzt der Blenden-Materialwagen ein E-Ink Display zur Visualisierung von prozessrelevanten Informationen und jeweils einen Positionsschalter am Ende eines jeden Faches. Die Identifikation sowie Prozesssteuerung (by light) erfolgt durch RFID-Transponder. Zum sequenzierten Beladen und Entladen von Fächern ist jedes Fach mit einem RFID-Transponder ausgestattet. In den RFID-Tag ist mit einer Light-Emitting Diode (LED) integriert. Über Lesegeräte und entsprechende RFID-Antennen (linear- und zirkular polarisiert) in den Bahnhöfen wird eine bidirektionale Kommunikation zwischen den Lesegeräten und den Transpondern ermöglicht. Über die elektromagnetischen Wellen der Antenne werden die Transponder mit Spannung versorgt und die LED zur Prozessführung angesteuert. Durch das individuelle Ansteuern und Aufleuchten der LED wird eine dynamische Prozesssteuerung direkt am Materialwagen umgesetzt. Die erhobenen Daten der Materialwagen werden dem MES übermittelt und in dem MES-Leitstand visualisiert.



**Bild 2. Konzept zur evolutionären Digitalisierung der Produktion durch Retrofitting von Materialwagen [11]**

## 4 Zusammenfassung

Der Beitrag beschreibt die Entwicklung eines Systems zur Steigerung der Informationsqualität von Produktionsprozessen. Durch das System wird die Transparenz für die Produktionsplanung erhöht, um somit optimal auf Störungen im Produktionsprogramm reagieren zu können. An dem Anwendungsfall von Miele/Imperial wird die Einführung des Systems im Werk in

Bünde beschrieben. Die Entwicklung umfasst die prototypische Implementierung eines MES-Produktionsleitstandes zur übersichtlichen Darstellung von Produktionskennzahlen. Die hierfür erforderlichen Daten werden an vernetzungsfähigen Produktionsanlagen sowie durch Aufrüstung von bestehenden Materialwagen zu Cyber-Physischen Systemen erfasst.

## Literatur

- [1] Vogel-Heuser, B.; Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014
- [2] Vogel-Heuser, B.; Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.: Handbuch Industrie 4.0 Bd.1. Produktion. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017
- [3] Schuh, G.: Lean Innovation. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2013
- [4] Huber, W.: Industrie 4.0 in der Automobilproduktion. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2016
- [5] Merz, S.: Industrie 4.0-Strategie: So geht man bei der Einführung vor. In: Roth, A. (Hrsg.): Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0: Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Case aus der Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, 2016

- [6] Müller, R. et al.: Development of an intelligent material shuttle to digitize and connect production areas with the production process planning department. 51st CIRP CMS Stockholm, 2018
- [7] Kletti, J.: Die perfekte Produktion. Manufacturing Excellence durch Short Interval Technology (SIT). Berlin: Springer, 2014
- [8] NeWiP Projekt. Internet: <https://newip-projekt.de/>. Zugriff am 22.03.2019
- [9] Kletti, J.: MES-Manufacturing Execution System: Anforderungen an die moderne Produktion. Berlin: Springer, 2015
- [10] Hänisch, T.: Grundlagen Industrie 4.0. In: Andelfinger, V.; Hänisch, T. (Hrsg.): Industrie 4.0: Wie cyber-physische Systeme die Arbeitswelt verändern. Wiesbaden: Springer Gabler, 2017
- [11] Müller, R. et al.: Development of an Intelligent Material Shuttle to Digitize and Connect Production Areas with the Production Process Planning Department. 51st CIRP Conference on Manufacturing Systems. Stockholm, 2018