

Smart Factory of the Future -More efficient, more flexible, faster and more sustainable

Smart Factory der Zukunft – Effizienter, flexibler, schneller und nachhaltiger

Dr.-Ing. Hashem Badra*, Prof. Dr. Dr.-Ing. Dr. h. c. Jivka Ovtcharova[‡] Eng. Alaa Alshubbak[†]

*Institute for Information Management in Engineering, Karlsruhe Institute of Technology
Karlsruhe, Germany, hashem.badra@kit.edu

[‡]Institute for Information Management in Engineering, Karlsruhe Institute of Technology
Karlsruhe, Germany, Jivka.ovcharova@kit.edu

[†]Mechatronics Engineering Department, German Jordanian University
Amman, Jordan, alaa.alshubbak@ju.edu.jo

Abstract — Smart Factory achieves an increase in flexibility, speed, efficiency and sustainability. In addition, a Smart Factory is generally roughly the optimization of the customer order process. In this article, the Smart Factory is examined in more detail with regard to its significance, requirements and components. The article deals in particular with the digital twin and virtual commissioning. The challenges facing the Smart Factory will also be briefly discussed. Furthermore, the advantages and effects of introducing the Smart Factory are explained.

Zusammenfassung — Smart Factory erzielt eine Steigerung der Flexibilität, Schnelligkeit, Effizienz und Nachhaltigkeit. Des Weiteren handelt es sich bei einer Smart Factory generell und im Groben um die Optimierung des Kundenauftragsprozesses. In diesem Beitrag wird die Smart Factory u. a. bzgl. ihrer Bedeutung, und Anforderung sowie auch ihrer Bestandteile näher betrachtet. Der Beitrag geht besonders auf den digitalen Zwilling Grundvoraussetzung für die Smart Factory und die virtuelle Inbetriebnahme ein. Ebenfalls werden die Herausforderungen der Smart Factory kurz erörtert. Weiterhin werden die Vorteile und die Auswirkung bei der Einführung der Smart Factory erläutert.

I. EINLEITUNG

Die Smart Factory „die Fabrik der Zukunft, also die intelligente Fabrik“ muss flexibler, schneller, effizienter und nachhaltiger als heutige Produktionsstätten sein. In der Smart Factory ist die industrielle Produktion in jeder Hinsicht so smart, dass selbst die intelligenten Werkstücke ihren Bearbeitungsstand kommunizieren können. Dabei lassen alle Prozesse sich nicht nur digital abbilden, sondern auch in Echtzeit analysieren und verbessern. Außerdem wird das Gebäude selbst, aus dem die Smart Factory besteht, intelligent sein und führt maßgeblich zum Erfolg eines Unternehmens [1]. Dies basiert auf der Vision einer weitgehend vollautomatischen Fertigung. Somit wird die Fertigung sich enorm durch die Einführung der Smart Factory verändern. Dabei können intelligente Fabriken selbst für rechtzeitige Wartung „Predictive Maintenance“ sorgen und Ausfälle reduzieren. Dazu können Waren und Ersatzteile automatisch angefordert werden.



Abb. 1: Smart Factory „die Fabrik der Zukunft“

Diese Smart Factory kann nur mithilfe von Digitalisierung und Vernetzung aller Bestandteile der Fabrik realisiert werden [2]. Dabei handelt es sich generell um die Optimierung des Kundenauftragsprozesses (KAP). Im Vergleich zu den smarten Produkten liegt der Fokus hier bei der Optimierung des Produktentstehungsprozesses und deren Produkte. Bei den Smart Services geht es um neue Geschäftsmodelle [3]. Im Folgenden werden die Deutung, Anforderungen, Herausforderungen, Bestandteile usw. der Smart Factory näher beleuchtet.

II. DEUTUNG DER SMART FACTORY

Eine Smart Factory beginnt im Produktentstehungsprozess und zwar mit der Planung und Konzeption einer neuen Fabrik in Form einer digitalen Fabrik. Somit entsteht ein digitales Abbild der späteren realen Fabrik, welches der digitale Zwilling der Fabrik genannt wird. Somit ist diese Smart Factory eine Produktionsstätte, die das Prinzip von Industrie 4.0 umsetzt und in der intelligente, vernetzte Maschinen mit intelligenten Produkten interagieren. Die Basis solcher Smart Factory sind sogenannte Cyber Physical Systems (CPS) und die intelligente Vernetzung von Maschinen und Produkten. Dabei teilt das Produkt selbst die für die Fertigung benötigten Informationen der Smart Factory mit. Im Ganzen ist die Smart Factory in der Lage selbst Entscheidungen zu treffen und sich organisieren zu können. Hierbei ist die Smart Factory aber vielmehr je nach Branche und Unternehmen unterschiedlich ausgeprägt [3], [4], [5]

III. HERAUSFORDERUNGEN DER SMART FACTORY

Bei der Smart Factory müssen die geplanten und eingesetzten Technologien wegen des immer schnelleren Wandels und der rasanten Entwicklung von Kombinationstechnologien austauschbar sein. Durch diese Technologie kann der Kundenauftragsprozess aller Aktivitäten vom Eingang einer Bestellung bis zur Auslieferung des oder der Produkte an den Kunden optimiert werden. Eine der Basistechnologien für eine Smart Factory ist die Technologie: "Radio Frequency Identification" – RFID zur Identifizierung der bspw. in der Smart Factory befindlichen Teile [3]. Außerdem stellen die großen Datenmengen – Big Data, die von den Maschinen und anderen Bestandteilen der Smart Factory verarbeitet werden, im Rahmen der Smart Factory eine große Herausforderung dar [5]. Eine weitere Herausforderung ist die Industrial Security, da die Smart Factory auf Vernetzung durch das Internet aller am Produkt und an der Produktionsanlagen Beteiligten setzt. Dabei ist nicht nur der Zugang zum System zu verschaffen, sondern auch der Zugriff, mit einem hohen Risiko verbunden, auf die Kernkomponenten der Produktionsumgebung zu ermöglichen. Somit ist der Bedarf an entsprechenden Sicherheitsmaßnahmen sehr groß [6].

IV. ANFORDERUNG DER SMART FACTORY

Die zentrale Anforderung der Smart Factory ist die eigene Wandlungsfähigkeit. Darüber hinaus existiert eine Reihe von Anforderungen an eine Smart Factory, wie der Mensch, die Maschinen, das Fabrikgebäude, die Digitalisierung, die Produkte, die Logistik sowie das digitale Produktions- und Werteschöpfungssystem [2], [3].

V. MENSCHEN IN DER SMART FACTORY

Obwohl die Smart Factory sich selbst organisiert und komplette Fertigungsprozesse automatisiert zur Verfügung stellt, besitzt der Mensch weiterhin eine zentrale Rolle in diesem Netzwerk. Im eigentlichen Fertigungsprozess muss er zwar nicht mehr eingreifen, hat aber Funktionen in der Kontrolle und Optimierung der Abläufe. Der Mensch leistet zu dem Fertigungsprozess das grundlegende Design der Smart Factory und stimmt Schnittstellen zu externen Systemen oder anderen smarten Fabriken ab. Die Technologie der virtuellen Realität (VR) ist ein wichtiges Arbeitsmittel für den Menschen in der Smart Factory. Diese Technologie VR gestattet dem Menschen, virtuell auf alle Systeme einzuwirken und ohne direkten physischen Kontakt zu den Anlagen zu existieren [5].



Abb. 2: Rolle des Menschen in der Smart Factory

VI. BESTANDTEILE DER SMART FACTORY

In der Smart Factory sollten alle benötigten physischen Objekte durch entsprechende digitale Abbilder repräsentiert und mit smarten Bausteinen ausgestattet sein. Somit ist der digitale Zwilling als Grundvoraussetzung für die Smart Factory zu bezeichnen. Dies bedeutet, dass jede Maschine, jedes Werkzeug, jedes Teil und zu produzierende Produkt, jeder Roboter und autonome Transporteinheiten, aber auch jedes Fabrikgebäude durch digitale Abbilder präsentiert wird [2], [3]. Im Folgenden werden digitale Zwillinge und Komponenten der Smart Factory näher erörtert.

Der **digitale Zwilling** lässt sich als virtuelles Abbild oder auch als Modell definieren (vgl. Abb. 3). Das virtuelle Abbild enthält die 3D-Geometrie der physischen Umgebung in Verbindung mit deren physikalischen Eigenschaften. Somit ist die Validierung operationaler Konzepte der Produktionsanlagen in Echtzeit möglich und außerdem könnten mittels einer Simulation Zukunftsprognosen auf der Basis von Echtzeitdaten aus der Produktion erstellt werden [7].



Abb. 3: Digitaler Zwilling einer nichtexistierenden Anlage [9]

Weiterhin repräsentiert und verkörpert der digitale Zwilling virtuell einen Vermögenswert jeglicher materiellen oder immateriellen Art, von der Leistungsturbine bis hin zu Dienstleistungen, Prozesse und Wartung. Hierbei wird der digitale Zwilling durch das Verhalten und die Struktur der verbundenen Komponenten eines Produkts oder Systems, die Echtzeitdaten erzeugen, beschrieben. Des Weiteren werden der Status und die Geschichte eines Produkts den Benutzern aus verschiedenen Perspektiven und in verschiedenen Rollen mittels des Digitalen Zwillings präsentiert [8]. Dabei verwenden digitale Zwillinge reale und von den installierten Sensoren erzeugte Daten, die u. a. die Arbeitsbedingungen oder Positionen von Maschinen oder auch von Dingen repräsentieren. Somit entsteht eine Kopplung der virtuellen und realen Welten, welche die Analyse von Daten und die Überwachung von Systemen ermöglicht, um Probleme verstehen und bearbeiten zu können, bevor sie überhaupt auftreten [9]. Das Konzept von digitalen Zwillingen wurde 2002 entwickelt und besteht aus den Hauptteilen: dem physischen Produkt, dem digitalen /visuellen Produkt und den Datenflüssen zwischen den beiden Produkten. Der digitale Zwilling ist in allen Phasen des Lebenszyklus eines Objektes sinnvoll, z. B. in der gesamten Prozesskette produzierender Unternehmen, zu nutzen (vgl. Abb. 4).

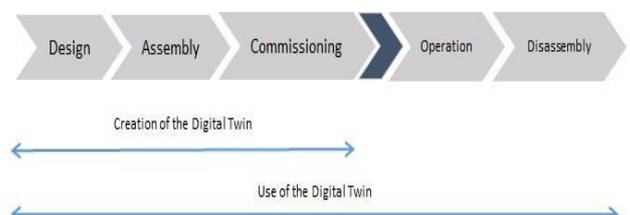


Abb. 4: Einsatzphasen des digitalen Zwillings [9]

Besonders in der Phase vor dem ersten Produktionsschritt hilft der digitale Zwilling sicherzustellen, ob die im Unternehmen bereits vorhandenen Produktionsanlagen das neue Produkt auch fertigen können. Dabei können neue oder veränderte Anlagen vorab virtuell in Betrieb genommen werden (vgl. Abbildung 3) und somit werden die Ausfallzeiten bei der realen Inbetriebnahme und Rekonfiguration möglichst gering gehalten. Somit sorgen digitale Zwillinge mittels sog. Virtuelle Inbetriebnahme (VIN) für eine effiziente Inbetriebnahme sowohl für bereits vorhandene als auch für in die Zukunft zu bauenden Anlagen, Maschinen und Zellen.

Für die bereits vorhandenen Anlagen, Maschinen und Zellen werden anhand ihrer 3D- und Verhaltensmodellen in ihrem Aufbau nachgebildet. Daraus entstehen digitale Zwillinge, die mit den realen Anlagen bidirektional vernetzt sind und sie lebenslang begleiten sollen. Dabei ermöglicht die zur Erstellung des digitalen Zwillinges eingesetzte Software durch Szenarien bzw. Echtzeitsimulation die Funktionen einzelner Maschinen sowie die Schnittstellen zwischen den Anlagenkomponenten in vollem Umfang zu testen (vgl. Abbildung 5). Alle Komponente der in die Zukunft geplanten Maschinen und Anlagen werden vor dem realen Bau in 3D modelliert und in einem virtuellen Umfeld in Echtzeit simuliert (vgl. Abbildung 6).

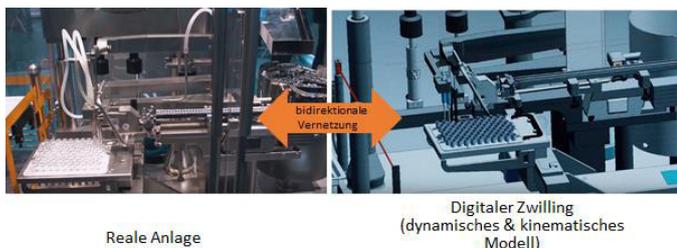


Abb. 5: Virtuelle Inbetriebnahme einer realen Anlage [9]

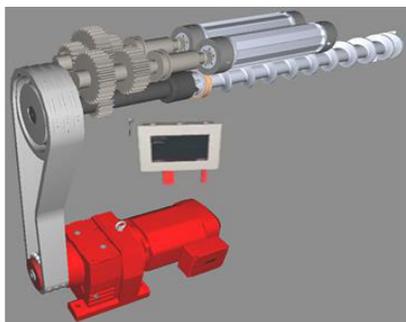


Abb. 6: Virtuelle Inbetriebnahme einer nicht-existierenden Maschine [9]

Die Smarte Komponente der Smart Factory sind u. a. smarte Maschinen, Produkte, Sensoren und Fabrikgebäuden.

Smarte Maschinen:

In der Smarten Fabrik sollen alle Maschinen und Anlagen selbststeuernd und somit selbstlernend und selbstoptimierend agieren. Außerdem sollen diese Maschinen bedarfsgerecht Daten untereinander austauschen und miteinander kommunizieren. Somit verfügen sie auch über Kommunikationseinheiten, welche als Cyber physikalische Systems (CPS) betrachtet werden [3], [2]. Die CPS bestehen aus mechanischen Komponenten, Software und moderner Informationstechnik und zu deren Bestandteile gehören sowohl mobile Einrichtungen als auch stationäre Maschinen, Anlagen und Roboter, die über Netzwerke wie das Internet vernetzt sind. Der Austausch von Informationen der miteinander vernetzten

Gegenstände und Systeme kann in Echtzeit drahtlos oder kabelgebunden erfolgen. Dabei handelt es sich um vernetzte Komponenten, die ihre physischen Aktionen untereinander abstimmen und können autonom agieren sowie tauschen die für den Betrieb und die Steuerung benötigten Daten untereinander aus [10].



Abb. 7: Smarte Komponente der Smart Factory

Smarte Produkte

Ebenfalls sollen die zu produzierenden Produkte immer smarter, also intelligenter parallel zu den Maschinen und Werkzeugen sein. Smarte Produkte verfügen über Informationen bezüglich des eigenen Herstellungsprozesses wie die Art und Weise der Produktion. Außerdem sind diese smarte Produkte in der Lage Daten während der Fertigungs- und Nutzungsphase zu sammeln und zu kommunizieren. Intelligenz bekommen sie über den digitalen Zwilling. Dies bedeutet, dass diese Produkte Wissen über Ihren Zustand bekommen, also die Art und Weise ihrer Produktion, um sich selbstzusteuern. Somit wären z. B. die Autos in der Lage sein, sich selber über die Funktionalität des autonomen oder teilautonomen Fahrens durch die Endmontage zu steuern. Letztendlich sollen smarte Produkte für die auf individuelle Kundenwünsche zugeschnittene Produktion eingesetzt werden [2], [3], [10].

Smarte Sensoren

Zur Realisierung der Smart Factory spielen die Sensoren eine Hauptrolle, weil sie sich selbst überwachen. Die mit Sensoren und Aktoren ausgerüsteten Arbeitsstationen koordinieren selbst ihre Abläufe und Funktionen untereinander. Durch die smarten Sensoren könnte eine smarte Logistik mit autonomen Transporteinheiten entstehen, die zu einer deutlichen Reduzierung der Aufwände bei gleichzeitiger Steigerung der Flexibilität führt [2], [3], [5].

Smartes Fabrikgebäude

Bei der Planung und Realisierung des smarten Fabrikgebäudes kommen smarte Sensoren zum Einsatz, um die Fabrik der Zukunft effizienter und ressourcen-schonend zu nutzen. Somit werden z. B. menschenleere Räume oder Gänge im Fabrikgebäude der Smart Factory nicht beleuchtet. Aber, sobald ein Sensor jedoch Bewegung registriert, schaltet das Licht automatisch an. Durch eine am Gebäude installierte Wettermessstation und das intelligente und lernende System werden die optimale Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit in Abhängigkeit von der Wetterentwicklung und den geplanten Schichten eingestellt [1], [3].

VII. VORTEILE DER SMART FACTORY

Die intelligenten Fabriken sind in der Lage, Produktionsprozesse und die gesamte Lieferkette zu optimieren, dezentral und transparent zu gestalten. Zu den konkreten Vorteilen der intelligenten Fabriken zählen Effizienzsteigerung, Qualität und Nachhaltigkeit der Produktion, welche hier kurz erläutert werden [12]:

Effizienz

Die Smart Factory hat jederzeit Zugriff auf einen sich ständig ändernden Datenstrom, wenn sie voll funktionsfähig ist. Somit analysiert die intelligente Fabrik die Daten und korrigiert sich selbst, um den Produktionsprozess und die Produktion so effizient wie möglich zu gestalten.

Qualität

Die intelligente Fabrik hat die Fähigkeit Produktionsprobleme zu erkennen und zu beheben, bevor sie auftreten. Daher erhält die Qualität des Endprodukts einer bestimmten intelligenten Fabrik einen höheren Wert als die Qualität der nicht automatisierten Produkte, die manchmal fehlerhafte Waren liefern.

Nachhaltige Produktion

Mit intelligenten Fabriken wird die Möglichkeit des menschlichen Versagens ausgeschlossen und somit treten keine Störungen wie bei den traditionellen Fabriken und Produktionsräumen aufgrund von Arbeits-, Umwelt- und Unfallfaktoren auf. Daher führen die intelligenten Fabriken zu mehr Sicherheit und nachhaltiger Produktion.

VIII. AUSWIRKUNG DER SMARTEN FACTORY

Die Auswirkung der intelligenten Fabriken werden u. a. in der Personaländerung, Anpassung der Lieferkette und der Sicherheit deutlich sein. Die Rolle der Arbeitskräfte verändert sich von der körperlichen Arbeit zur technologischen Unterstützung, welche eine eher technische Qualifikation erfordert. Die Lieferkette von der Fertigung über die Qualitätskontrolle bis hin zum Lagermanagement weist ein gleiches Maß an Flexibilität auf. Für die intelligenten Fabriken sollten auch Datenschutz geleistet werden, da die Informationen im

digitalen Zeitalter wie nie zuvor zugänglich geworden sind, allerdings auf Kosten der Sicherheit [12].

LITERATUR

- [1] M. Tiedemann: Die Fabrik der Zukunft: Die Smart Factory als Zentrum der Industrie 4.0
<https://www.alexanderthamm.com/de/artikel/die-fabrik-der-zukunft-die-smart-factory-als-zentrum-der-industrie-4-0/>
- [2] W. Huber: Smart Factory 2025, So sieht die Fabrik der Zukunft aus? <https://www.maschinenmarkt.vogel.de/so-sieht-die-fabrik-der-zukunft-aus-a-822085/>, 17.04.2019
- [3] W. Huber: Smart Factory, Wie sieht die Produktion von morgen aus? <https://www.computerwoche.de/a/wie-sieht-die-produktion-von-morgen-aus.3544863>, 08.05.2018
- [4] M. Ruskowski: Smart Factory –Begriffe <https://smartfactory.de/i40-begriffe/> -15.11.2019
- [5] REFA: Smart Factory <https://refa.de/service/refa-lexikon/smart-factory> – 19.11.2019
- [6] M. Rosche: Smart Factory: Herausforderungen im Rahmen Industrie 4.0 <https://www.computerweekly.com/de/meinung/Smart-Factory-Herausforderungen-im-Rahmen-der-Industrie-4-0>, 25.09.2019
- [7] J. Ovtcharova: Virtuelles Abbild - neue Ingenieurmethoden für Ind. 4.0 In: 3. Fachkonferenz zu VR/AR-Technologien in Anwendung und Forschung, TU Chemnitz, 2015
- [8] J. Ovtcharova, M. Grethler: Beyond the digital Twin – Marking – Analytics Come, In: *visIT Industrial IoT – Digital Twin, Fraunhofer IOSB, Karlsruhe 2018*
- [9] H. Badra; J. Ovtcharova: Digitaler Zwilling - Effiziente Inbetriebnahme & Optimierung der Produktionsprozesse, *Fachtagung VPP2019 – Vernetzt planen und produzieren, TU Chemnitz*
- [10] S. Luber: Was ist ein Cyber-physisches System (CPS)? <https://www.bigdata-insider.de/was-ist-ein-cyber-physisches-system-cps-a-668494/> - 18.11.2019
- [11] N.N.: Smarte Sensoren für die smarte Fabrik <https://www.etz.de/6315-0-Smar-te+Sensoren+fuer+die+smarte+Fabrik.html> 30.09.2019
- [12] G. Finch: Smart Factories & INdustry 4.0 - The Next Industrial Frontier, <https://www.viewsonic.com/us/library/business/smart-factories> December 6, 2018
- [13] REFA: Smart Products <https://refa.de/service/refa-lexikon/smart-products> -18.11.2019