

VDI Fachausschuss Digitale Fabrik - Darstellung der aktuellen Aktivitäten und Richtlinien

VDI committee Digital Factory - Presentation of current activities and standards

Carsten Matysczok, UNITY AG, Büren (Germany), carsten.matysczok@unity.de

Marco Seewaldt, Technische Universität Clausthal, Clausthal (Germany),
marco.seewaldt@tu-clausthal.de

Abstract: This paper provides an overview of the current activities and elaborated standards of the VDI committee Digital Factory. It summarizes five standards. Two of those standards are currently reviewed and updated to represent the final state of technology. Furthermore, the VDI committee Digital Factory takes over also new topics like “Industry 4.0”. Industry 4.0 is nowadays often mentioned as a key technology allowing companies to implement the digital transformation also in production. In combination with the systems and methods of the Digital Factory new potentials on both sides can be achieved. Therefore, a corresponding “white paper” is currently under development. Its status will also be presented.

1 Aktuelle Richtlinien

Der Fachausschuss Digitale Fabrik (FA205) des VDI im Fachbereich 2 Fabrikplanung und -betrieb der VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik (VDI-GPL) beschäftigt sich mit der Anwendung der Digitalen Fabrik mit ihren Modellen, Methoden und Werkzeugen. Ziel der Digitalen Fabrik ist es, eine frühzeitige Parallelisierung und möglichst komplette digitale Bearbeitung von Produktentwicklung und Produktionsplanung bis hin zum virtuellen Anlauf und Betrieb zu ermöglichen (Bracht et al. 2018). Hierzu stellt die Digitale Fabrik unterschiedliche Planungssysteme bereit (Abb. 1).



Abbildung 1: Planungssysteme der Digitalen Fabrik

Aus der Arbeit des Fachausschusses resultieren die folgenden Richtlinien:

- *VDI 4499 Blatt 1 - Digitale Fabrik:* Diese Richtlinie definiert den Begriff Digitale Fabrik und zeigt ihren Fokus auf.
- *VDI 4499 Blatt 2 - Digitaler Fabrikbetrieb:* Diese Richtlinie gibt einen Überblick über die Anwendungen des Digitalen Fabrikbetriebs in den Lebenszyklusphasen.
- *VDI 4499 Blatt 3 - Datenmanagement und Systemarchitektur:* Die Richtlinie unterstützt bei der Auswahl und Umsetzung eines Systemarchitekturkonzeptes für die Digitale Fabrik. Sie setzt ihren Fokus auf technische und organisatorische Fragen des Datenmanagements.
- *VDI 4499 Blatt 4 - Der Mensch in der Digitalen Fabrik:* Die Richtlinie stellt Werkzeuge und Modelle im Rahmen der Digitalen Fabrik vor, mit denen die Prognose von Belastungen und Beanspruchungen durch die Arbeitsaufgabe ermittelt werden kann.
- *VDI 4499 Blatt 5 - Umgebungseinflüsse in der Digitalen Fabrik:* Diese Richtlinie gibt einen Überblick über die Belastungs- und Beanspruchungsprognose, die durch die physikalische Arbeitsumgebung auf dem Menschen wirken. Dazu werden Modelle und Werkzeuge der Digitalen Fabrik vorgestellt.

1.1 VDI 4499 Blatt 1: Digitale Fabrik – Grundlagen

Das erste Blatt der Richtlinienreihe gewährt einen grundlegenden Einblick in das Themenfeld der Digitalen Fabrik (VDI 2008). Sie richtet sich mit ihren Ausführungen insbesondere an die beteiligten Entwickler und Entscheider des Einführungs- und Umsetzungsprozesses, sowie deren späteren Anwendern (z.B. Konstrukteure, Verfahrensentwickler, Fertigungs-, Anlagen- und Fabrikplaner) und Betreibern der Fabriken. Zuallererst wird der Begriff selbst wie folgt definiert:

„Die Digitale Fabrik ist der Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen – u.a. der Simulation und der dreidimensionalen Visualisierung –, die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden.“

Die Simulation wird durch die explizite Erwähnung in der Definition als besonders wichtige Methode herausgestellt. Obwohl die Ursprünge der Digitalen Fabrik in der Fabrikplanung liegen, wird im zweiten Abschnitt der Definition herausgestellt, dass „ihr Ziel die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt“ ist. Sie impliziert hiermit, dass zum einen die digitalen Methoden und Planungswerkzeuge auch den laufenden Betrieb optimieren können. Andererseits ist hierfür jedoch eine gute Abstimmung und Zusammenarbeit zwischen Planung und Produktion vonnöten. Die erstellten digitalen Modelle müssen über den gesamten Lebenszyklus auf Aktualität gepflegt werden und stehen für stetige Verbesserungen und neue Herausforderungen zur Verfügung. Ihr Fokus ist jedoch die Produktionsplanung und Gestaltung der Fabrik und diese schon in frühen Planungsphasen abzusichern und zu optimieren.

Mögliche Anwendungsgebiete der Digitalen Fabrik reichen damit über den gesamten Lebenszyklus von ersten Entwürfen, über die Produktion bis zum Produktlebensende.

Um die Nutzensvorteile voll auszunutzen, ist die Integrationsfähigkeit aller Beteiligten, sowohl externe als auch interne, von entscheidender Bedeutung. Hierfür werden umfassende Maßnahmen für eine erfolgreiche Einführung der Digitalen Fabrik und der dafür notwendigen Systemarchitektur und des Datenmanagements aufgeführt.

1.2 VDI 4499 Blatt 2: Digitaler Fabrikbetrieb

Das 2009 erschienene zweite Blatt behandelt detailliert den Digitalen Fabrikbetrieb, unter welchem die Aufgaben und Tätigkeiten der in Abbildung 2 dargestellten Lebenszyklusphasen verstanden werden (VDI 2011).

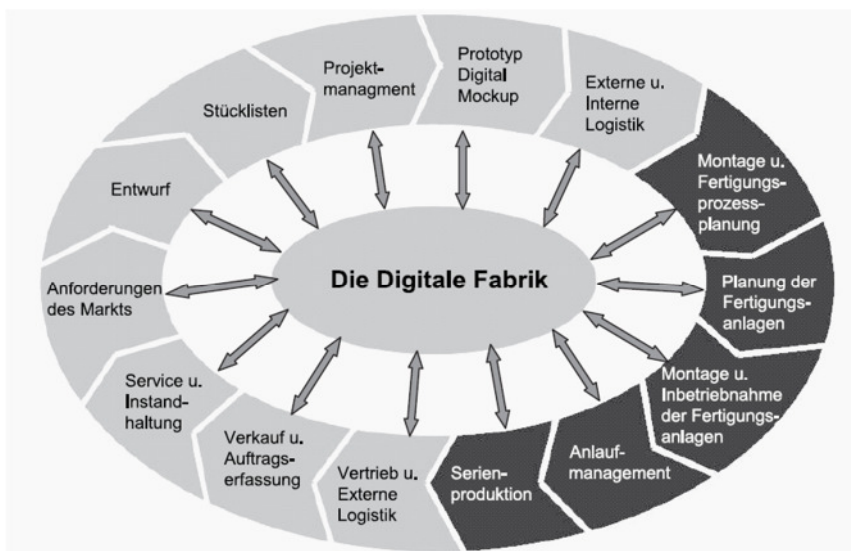


Abbildung 2: Digitaler Fabrikbetrieb als Teil der Digitalen Fabrik

Er umfasst die Phasen der Montage- und Fertigungsprozessplanung, die Planung der Fertigungsanlagen, die Montage und Inbetriebnahme dieser, das Anlaufmanagement sowie die Serienproduktion. Sein Ziel ist durch Vorverlagerung von Arbeitsinhalten in frühe Planungsphasen die Absicherung und eine Verkürzung des Anlaufes sowie die laufende Verbesserung der Produktion.

Es wird betont, dass dieses nur durch ein durchgängiges Datenmanagement erreicht werden kann, so dass die Ergebnisse der Produktionsplanung auch im operativen Betrieb genutzt werden können. Hierfür sind entsprechende IT-Systeme notwendig, um die benötigten Daten laufend bereitzustellen.

Die Anwendung von den digitalen Werkzeugen wird eingehend näher beschrieben und anhand von Praxisbeispielen (Digitaler Betrieb von Werkzeugmaschinen, Digitaler Betrieb automatisierter Produktionsanlagen, Nutzung des Digitalen Fabrikbetriebs zur Auftragssteuerung) näher erläutert. Ein Teilschritt dabei ist die Simulation und Optimierung des NC-Programms einer Werkzeugmaschine, welches darauffolgend, simulativ abgesichert, in Betrieb genommen werden kann.

1.3 VDI 4499 Blatt 3: Datenmanagement und Systemarchitektur

Ausführlich wird das wichtige Thema der Auswahl und Umsetzung eines Systemarchitekturkonzeptes und Datenmanagements für die Digitale Fabrik im dritten Richtlinienblatt behandelt (VDI 2016). Fokussiert auf die IT-spezifischen Herausforderungen wird die Implementierung eines IT-Systems für die Digitale Fabrik beschrieben (Abb. 3).

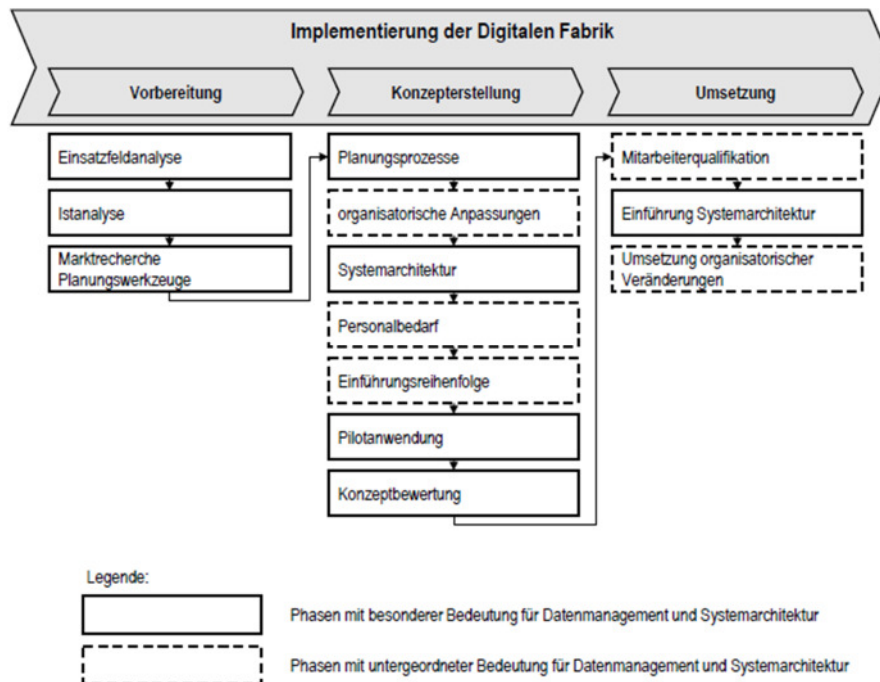


Abbildung 3: Implementierungsprozess der Digitalen Fabrik

In der Vorbereitungsphase werden ausgehend von der Motivation und dem Nutzen des Einsatzes der Digitalen Fabrik im Unternehmen, mögliche Einsatzfelder analysiert und Anforderungen aufgestellt. Daran anschließend erfolgt eine Analyse der derzeit genutzten IT-Struktur und vorhandenen Prozesse, um darauf basierend eine passende (Vor-)Auswahl der bestmöglichen Softwarewerkzeuge treffen zu können, so dass die Planungsaufgabe bestmöglich erfüllt sowie der durchgängige Planungsprozess unterstützt werden kann.

In der Konzepterstellung (Sollkonzept) werden auf den vorangegangenen präzisierten Anforderungen die Planungsprozesse in eine Systemarchitektur überführt und im Rahmen einer Pilotanwendung prototypisch getestet, so dass eine abschließende kritische Konzeptbewertung vorgenommen werden kann.

Für die Bildung des Sollkonzeptes ist die Erstellung eines technischen Datenmodells von besonderer Wichtigkeit, welches in die Softwarewerkzeuge für die Umsetzung der Digitalen Fabrik eingebaut werden muss. Dabei ist zu beachten, wie das Datenmanagement für alle verwendeten Systeme bestmöglich realisiert werden kann.

Die Implementierung im Unternehmen erfolgt schlussendlich in der Regel nach folgenden Schritten:

- Bereitstellung der Hardware: Auswahl und Dimensionierung der IT-Struktur
- Installation der Software: Betriebssystem und Software für die Digitale Fabrik
- Anpassung der Software: Betriebsspezifische Anpassungen und Optimierungen
- Test der Implementierung: Prüfung aus nicht funktionaler und funktionaler Sicht
- Schulungsmaßnahmen: Schulung für die Anwender und das IT-Team für Betrieb und Wartung

1.4 VDI 4499 Blatt 4: Ergonomische Abbildungen des Menschen in der Digitalen Fabrik

In diesem Richtlinienblatt wird die Abbildung von digitalen Menschmodellen in der Planung erörtert (VDI 2015). Sie erlauben es, zukünftige Arbeitssysteme im Vorhinein in ergonomischer und zeitwirtschaftlicher Betrachtung zu bewerten. Damit ist sie insbesondere für die Planer von Fertigungs-, Montage- und Logistiksystemen interessant und für alle anderen Verantwortlichen aus der Arbeitsplatzgestaltung und Personalwirtschaft.

Die Richtlinie orientiert sich im Aufbau an den mechanischen Phänomenen in gegenständlichen Räumen in Verbindung mit den ergonomischen Untersuchungen (Abb. 4).

Die geometrische Beschreibung erfolgt dabei sowohl für das Menschmodell als auch die Arbeitsplatzeinrichtung durch dreidimensionale CAD-Modelle, welche durch ihr Zusammenwirken bei der Durchführung eines Arbeitsvorganges ergonomisch untersucht und bewertet werden.

Die kinematischen Aspekte legen den Fokus auf die Bewegungen des gesamten Menschen bzw. von einzelnen Körperteilen. Somit ist gegenüber der rein geometrischen Betrachtung eine zusätzliche Bewertung möglich. So können z.B. mit Hilfe der digitalen Menschmodelle vorab genaue Abschätzungen der Zeiten von Arbeitsvorgängen erzielt werden. Zum Beispiel kann so bereits digital die MTM-Methode (Methods time measurement) angewendet werden.

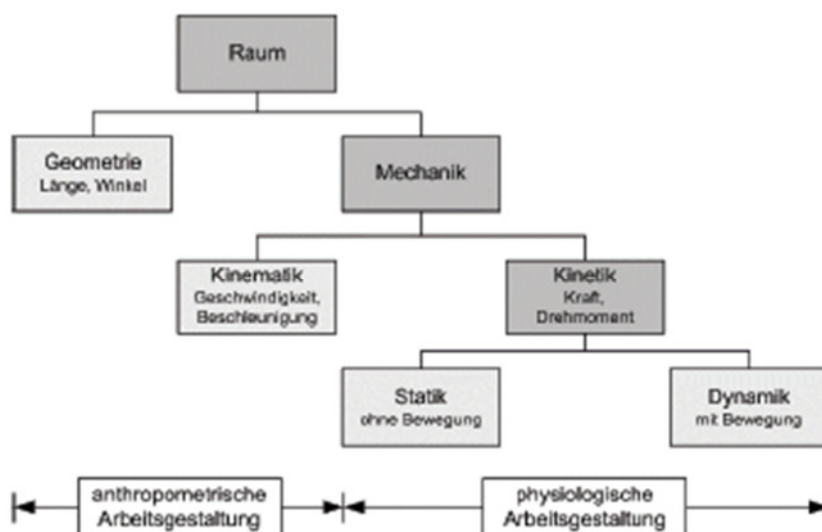


Abbildung 4: Zusammenhang zwischen Begriffen der Mechanik und der Ergonomie

Des Weiteren ist eine Analyse der statischen und dynamischen Auswirkungen von Kräften, Drehmomenten und deren Änderungen inklusive arbeitswissenschaftlicher Bewertung der Ausführbarkeit und Erträglichkeit möglich, um die Beanspruchungen der Menschen durch ihre Arbeitstätigkeiten voraussagen und Arbeitsplätze entsprechend planen zu können.

1.5 VDI 4499 Blatt 5: Umgebungseinflüsse in der Digitalen Fabrik

Während das vorangegangene Blatt die Einflüsse durch die Arbeitsaufgabe des Menschen betrachtet, befasst sich das noch in der Bearbeitung befindliche Richtlinienblatt mit der Prognose von Belastungen und Beanspruchungen des arbeitenden Menschen durch Einflüsse aus der Arbeitsumgebung mit der Möglichkeit zur Einbeziehung in Werkzeuge der Digitalen Fabrik. Die nachfolgenden Ausführungen geben einen Überblick über die behandelten Inhalte.

Mit diesen beiden Richtlinienblättern können anhand der behandelten Einflussfaktoren die Wirkungen auf den arbeitenden Menschen einzeln betrachtet werden. Die kombinierte Analyse von Belastungsfaktoren durch die Arbeitsaufgabe und die -umgebung werden bisher nicht gemeinsam durchgeführt, obwohl deren Abhängigkeiten zum Teil bekannt sind. So führt bekanntlich schwere körperliche Arbeit bei Hitze zu wesentlich höheren Beanspruchungen als bei kühleren, angenehmen Temperaturen.

Thematisch werden in dem Richtlinienblatt folgende Umgebungseinflüsse vorgestellt:

- *Arbeitsraum:* Abbildung der geometrischen Eigenschaften und Hindernisse (Säulen, Streben, Unterzüge)

- *Raumluft*: Klimatische Einflüsse und Ausbreitung von Gefahrenstoffen im Arbeitsraum
- *Mechanische Schwingungen*: Akustische Schwingungen (Schall) und mechanische Vibrationen
- *Elektromagnetische Schwingungen*: Beleuchtung, elektromagnetische Felder und radioaktive Strahlung

Die Richtlinie soll abschließend anhand von Anwendungsbeispielen die Prognosemöglichkeit kombinierter Umgebungsbelastungen aufzeigen. Beispielhaft werden in einer Fabrikhalle die beleuchtungstechnischen und thermischen Arbeitsbelastungen durch Simulation ermittelt. Es wird gezeigt, wie diese Ergebnisse in einer virtuellen Arbeitsumgebung (z.B. in einer CAVE) visualisiert und im Team diskutiert werden können. Somit zeigt sich auch die besondere Wichtigkeit der beiden in der Definition herausgestellten digitalen Methoden: Simulation und 3D-Visualisierung.

2 Zukunftspapier „Die Digitale Fabrik als Basis für Industrie 4.0 – Chancen und Nutzenpotenziale“

Neben der Richtlinienarbeit stellt sich der Fachausschuss auch neuen Themen, wie z.B. Industrie 4.0. Industrie 4.0 ist heute in aller Munde. In den letzten Jahren wurden bereits hohe Investitionen getätigt, um eine digitale Transformation in den Unternehmen umzusetzen und Industrie 4.0-Lösungen zu verwirklichen, wofür drei wesentliche Punkte notwendig sind (Kagermann et al. 2013):

- Horizontale Integration im Wertschöpfungsnetzwerk
- Durchgängige Integration eines digitalen Engineerings über die gesamte Wertschöpfungskette
- Vertikale Integration und vernetzte Fertigung

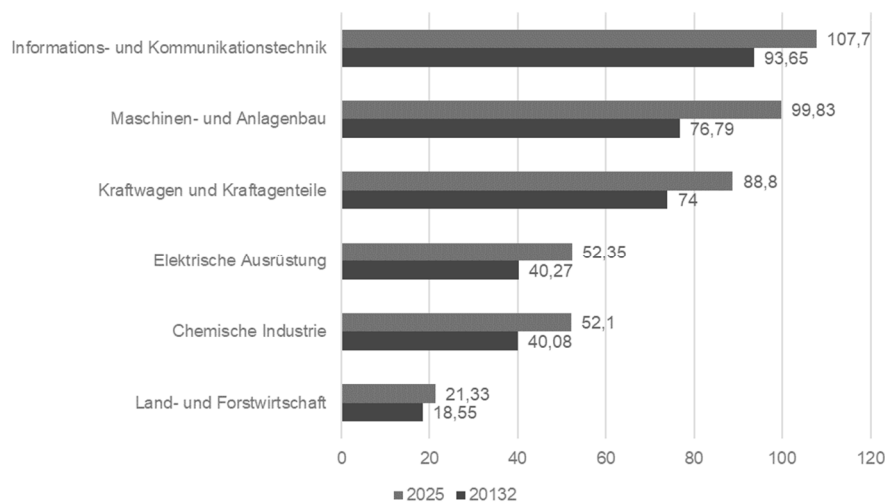


Abbildung 5: Prognose zur Steigerung der Bruttowertschöpfung ausgewählter Branchen durch Industrie 4.0 Lösungen in Deutschland für das Jahr 2025 (in Milliarden EURO) (Quelle: Statista GmbH 2017)

Ziel der Unternehmen ist es, sich Wettbewerbsvorteile vor den Mitbewerbern zu sichern und den Wirtschaftsstandort Deutschland zu stärken (Abb. 5).

Aus diesem Grunde wird aktuell ein Zukunftspapier zum Thema „Die Digitale Fabrik als Basis für Industrie 4.0 – Chancen und Nutzenpotenziale“ erstellt. Die Kerninhalte dieses Zukunftspapiers sollen im Folgenden vorgestellt werden.

2.1 Nutzen der Digitalen Fabrik für Industrie 4.0

Industrie 4.0 bezeichnet die intelligente Vernetzung von Maschinen und Abläufen auf dem Shopfloor mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnologie. Ziel ist es, eine dezentrale, selbstorganisierende Produktion zu realisieren, in der Menschen, Maschinen, Anlagen, Logistik und Produkte miteinander kommunizieren und kooperieren. Dadurch ist es möglich, nicht mehr nur einen Produktionsschritt, sondern eine ganze Wertschöpfungskette zu optimieren.

In Kombination mit der Digitalen Fabrik und deren Systemen, Methoden und Werkzeugen ergeben sich weitere Nutzenpotenziale. Neue Anwendungsfelder werden möglich (Abb. 6).

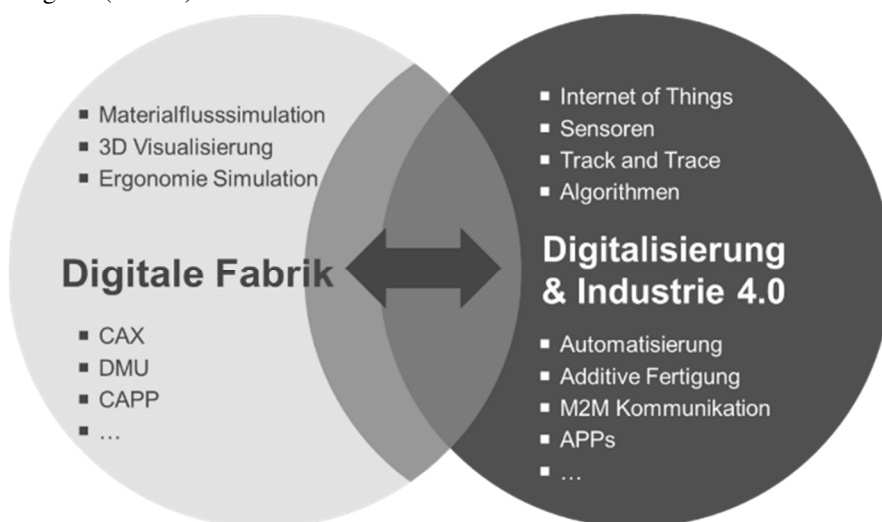


Abbildung 6: Neue Anwendungsfelder aus der Kombination Digitale Fabrik, Digitalisierung und Industrie 4.0 (Matysczok et al. 2018)

Bereitstellung von Planungsmodellen: In den Systemen der Digitalen Fabrik können Planungsmodelle der gesamten Fabrik, einzelner Produktionsbereiche oder auch der Logistik digital erstellt und validiert werden. Liegen diese Planungsmodelle vor, so können sie in einem nächsten Schritt auch für die Konzeption und Dimensionierung von Industrie 4.0-Anwendungen genutzt werden.

Digitale Fabrik als Enabler für die „wandlungsfähige Fabrik“: Ziel der wandlungsfähigen Fabrik ist es, kundenindividuelle Produkte in Losgröße 1 zu fertigen – und zwar zu Kosten der Massenproduktion. In der wandlungsfähigen Fabrik sind die Produktionsstraßen modular aufgebaut, damit diese schnell für neue Aufgaben angepasst werden können. Dazu ist es notwendig, das entsprechende Fabriklayout, die Maschinensteuerung, die erforderliche Logistik, etc. in kürzester Zeit aufwandsarm zu berechnen, zu programmieren und zu testen. Dazu können die

Modelle genutzt werden, die zuvor mit den Planungssystemen der Digitalen Fabrik erstellt worden sind.

Integration von Daten aus dem Fabrikbetrieb in die Digitale Fabrik: Aktuell fallen schon eine Vielzahl an Daten in der Produktion an (z.B. Daten von Maschinen, Werkzeugen und Werkstücken, Auftragseingänge, Lagerbestände, Pufferkapazitäten, etc.). Dieser Trend wird sich weiter erhöhen – bedingt durch die fortschreitende Vernetzung und Kommunikation, die Industrie 4.0-Anwendungen mit sich bringen. So stehen Echtzeitinformationen über Betriebsmittel und Prozesse zur Verfügung, die für die Digitale Fabrikplanung genutzt werden können (z.B. auf Basis einer Manufacturing Integration Plattform (Kletti 2018)). Beispielsweise entstehen durch eine lückenlose Lokalisierung von Material per RFID (Radio Frequency Identification) und die Erfassung von Lager-, Transport- und Bearbeitungszeiten große Datenmengen zum Materialfluss. Diese Informationen können per Schnittstelle dem jeweiligen Objekt im Planungsmodell zugeordnet werden. Auf ihrer Grundlage können dann in den Systemen der Digitalen Fabrik Optimierungen bspw. zu Durchlaufzeiten und Taktzeiten durchgeführt werden.

Digitale Fabrik liefert Teilmodelle für Digitale Zwillinge: Der Digitale Zwilling hat schon in Teilen der Industrie Einzug gehalten und wirkt sich dort auch schon auf die Abläufe entlang der gesamten Wertschöpfungskette aus. Der Digitale Zwilling ist das virtuelle Abbild der Realität – also eines Produkts, einer Produktionsanlage oder einer ganzen Fabrik. Der Digitale Zwilling begleitet sein physisches Pendant ein Leben lang. Er besteht aus drei wesentlichen Bestandteilen: dem realen Objekt, seinem digitalen Abbild und der Verknüpfung zwischen beiden. So kann der digitale Zwilling einer Fabrik reale Zustandsdaten aus der Fabrik (z.B. Fertigungsdaten aus MES- oder BDE-Systemen, Absatzdaten aus dem ERP-System oder auch Sensordaten von Maschinen) mit dem digitalen Fabrikmodell verknüpfen.

Dieser Digitale Fabrikzwillings kann dann in einem nächsten Schritt in einer (diskreten Ablauf-) Simulation genutzt werden. Durch diese Simulation können die Abläufe in der Fabrik, das Verhalten der Produktionsanlagen (z.B. SPS-Code) sowie z.B. die Dimensionierung von Lagern und Puffern getestet und vorab optimiert werden. Fehler- oder Störquellen können so schon vor dem Betriebsstart erkannt und behoben werden. Das spart Zeit und ist ein Wegbereiter für die individuelle Massenproduktion bzw. für die wandlungsfähige Fabrik.

Digitale Fabrik als Testumgebung für Industrie 4.0-Anwendungen: Die Digitale Fabrik kann in Form des Digitalen Fabrikzwillings auch als Testumgebung für Industrie 4.0-Anwendungen genutzt werden. Im Digitalen Fabrikzwillings können solche Anwendungen analog zur virtuellen Inbetriebnahme vor ihrer eigentlichen Realisierung virtuell erprobt werden. Auf diese Weise können Nutzenpotenziale für die Realisierung zuvor schon bewertet sowie mögliche Defizite vor der realen Einführung identifiziert und behoben werden.

3 Ausblick

Der Ansatz Digitale Fabrik entstammt der Fabrikplanung und stellt digitale Methoden, Werkzeuge und Modelle insbesondere für den Planungsprozess von Fabriken, Produktionsanlagen oder Arbeitsplätzen bereit. Zugleich wurde Wert darauf gelegt, dass dies kein von der späteren Produktion isolierter Prozess ist, vielmehr kann mit

der Digitalen Fabrik auch die laufende Produktion kontinuierlich verbessert werden. Durch die disruptiven Umbrüche aufgrund des digitalen Transformationsprozesses der Industrie 4.0 steht auch die Digitale Fabrik vor neuen Herausforderungen. Hierfür stellt sie eine gute Basis dar. Ihr Anwendungsgebiet wird zukünftig jedoch größer und die Zusammenarbeit mit anderen Fabrikssystemen (z.B. ERP-Systeme, BIM, Virtuelle Inbetriebnahme, Facility Management, PPS) verstärkt zunehmen. Für die erfolgreiche horizontale und vertikale Integration der digitalen Methoden und Modelle in die Unternehmensprozesse sind ein durchgängiges Datenmanagement sowie weitere Standardisierungen der IT-Systeme mit ihren Schnittstellen notwendig.

Literatur

- Bracht, U.; Geckler, D.; Wenzel, S.: Digitale Fabrik: Methoden und Praxisbeispiele. 2. Auflage, Berlin: Springer 2018.
- Kagermann, H.; Wahlster, W.; Helbig, J.: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Final report of the Industrie 4.0 Working group. Frankfurt, 4/2013
- Kletti, J.: Integrative Plattform für die Smart Factory. In: IT & Production Online, Mai 2018.
- Matyszczok, C.; Hohlweger, N.; Ilcin, M.; Wibbing, P.: Die Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die Digitale Fabrik. In: ProduktDatenJournal 1/2018.
- VDI 4499 Blatt 1: Grundlagen. Februar 2008.
- VDI 4499 Blatt 2: Digitaler Fabrikbetrieb. Mai 2011.
- VDI 4499 Blatt 3: Datenmanagement und Systemarchitekturen. April 2016.
- VDI 4499 Blatt 4: Ergonomische Abbildung des Menschen in der Digitalen Fabrik. März 2015.