

Anwendungsorientierte Simulationsbausteine für die schlanke virtuelle Inbetriebnahme verketteter Produktionssysteme

Application-oriented simulation blocks for the lean virtual commissioning of linked production systems

Pierre Grzona, Patrick Knüpfer, Hörmann Rawema Engineering & Consulting
GmbH, Chemnitz (Germany), pierre.grzona@hoermann-rawema.de,
Patrick.knuepfer@hoermann-rawema.de

Philipp Wilsky, Samuel Horler, TU Chemnitz, Chemnitz (Germany),
philipp.wilsky@mb.tu-chemnitz.de, samuel.horler@mb.tu-chemnitz.de

Abstract: This paper presents a promising approach on how virtual commissioning can be integrated into the factory planning processes in practical application using simulation modules. Therefore, in addition to the practicability, the abstraction level corresponding to the factory-planning practice, the universal use for different applications as well as the switching between emulation and simulation formed essential requirements. Based on existing research work, a solution was developed focusing on the simulator, the communication interface and the physical image. An initial evaluation of the approach was carried out with the help of an industrial Smart Factory demonstrator, which at the same time forms the impulse for further industrial development. In this respect, the paper presents promising results and gives an outlook regarding further research.

1 Einleitung

Methoden und Werkzeuge der digitalen Fabrik für die Unterstützung der Fabrikstruktur-, Prozess- und Ressourcenplanung werden seit geraumer Zeit wissenschaftlich forciert und finden praktischen Einsatz und Adaption in der planerischen Praxis. Die digitale Fabrik wird dabei als eine wesentliche Voraussetzung angesehen, auch die digitale Durchdringung des Objektbereichs ‚Fabrik‘ voranzutreiben – Schlagworte wie ‚Digitale Transformation‘, ‚Industrie 4.0‘ und ‚Künstliche Intelligenz‘ prägen aktuelle Bestrebungen (Bracht et al., 2018). Gleichzeitig bietet die Verknüpfung der digitalen Planungs- mit der digitalen Fabrikumgebung entscheidende Potenziale, Planungsergebnisse abzusichern sowie die lange geforderte Kopplung von Planung und Betrieb zu erreichen. Das virtuelle Vordenken zukünftig zu realisierender Fabriken erreicht eine ganz neue Qualität.

Die virtuelle Inbetriebnahme gilt dabei als ein Lösungsansatz, um zeitraubende und kostenintensive Iterationsschleifen bei der Planung und Inbetriebnahme von Produktionssystemen zu vermeiden. Sie beschreibt das „[...] entwicklungsbegleitende Testen einzelner Komponenten und Teilfunktionen des Automatisierungssystems mithilfe von auf die jeweilige Aufgabenstellung abgestimmten Simulationsmethoden und -modellen“ (VDI/VDE 3693). Der dafür notwendige Aufwand rechtfertigt sich durch den Fakt, dass während der Inbetriebnahme 90% der Zeit für die Elektrik und Steuerungstechnik aufgewendet werden – davon gehen 70% der Zeit auf Kosten von Softwarefehlern (Wünsch, 2007). Dies offenbart die Potenziale für die Reduzierung der Inbetriebnahmezeit. Daneben können Fehler in der Planungsphase kostengünstiger erkannt und umfassender ausgebessert werden, als unter den Bedingungen während einer aktiven Inbetriebnahme (Kövari, 2011).

Im Rahmen von Fabrikplanungsprojekten kommt die Materialflusssimulation als Werkzeug zur Betrachtung dezidierter planerischer Fragestellungen zum Einsatz. Ein Modell zur Materialflusssimulation dient hierbei dazu, den Fabrikplaner bei quantitativen Aussagen innerhalb von Planungsprojekten zu unterstützen, aber auch zur Gewerke übergreifenden Funktionskommunikation. In der Praxis zeigt sich hierbei häufig die Herausforderung, die Materialflusssimulation effizient in den Planungsprozess zu integrieren. Die virtuelle Inbetriebnahme hat nach Einschätzung der Planungsexperten das Potenzial, bewährte Vorgehen zu unterstützen.

2 Problemstellung

In der Vergangenheit wurde die virtuelle Inbetriebnahme bereits vielfach beforscht, sodass der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik durch umfangreiche Forschungsaktivitäten und eine Reihe praxistauglicher Werkzeuge geprägt ist. Auch der Nachweis über den Nutzen dieses Ansatzes wurde an zahlreichen industriellen Evaluationen erbracht. (Wünsch, 2007) stellt einen umfassenden Überblick über klassische Vorarbeiten der virtuellen Inbetriebnahme im Produktionsumfeld zur Verfügung. Er nimmt eine Gliederung der Ansätze nach der Hierarchieebene der getesteten Steuerungstechnik (gemessen nach Anzahl der E/A-Variablen, die zwischen Steuerung und Automatisierungsperipherie ausgetauscht werden) sowie nach der Systemgröße des berücksichtigten Ausschnittes der Produktion vor. Die Klassifizierung zeigt, dass sich alle Ansätze in einen Korridor, bestimmt durch Detaillierungsgrad und Modellierungsaufwand, einordnen, wobei sich die Mehrheit auf lediglich eine Detaillierungsebene beschränkt und gleichzeitig ein hoher Modellierungsaufwand vorliegt. Zu nennen sind insbesondere die Arbeiten von (Meier; Kreuzsch, 2000) auf der Ebene einzelner Bearbeitungszentren, (Zäh et al., 2005) in Fertigungszellen sowie (Römberg, 2004) für das übergreifende Fördersystem.

Im Rahmen der vorliegenden Anforderungen soll der Fokus auf verketteten Produktionsanlagen bis hin zum Produktionssystem liegen. Demnach werden nicht Einzelkomponenten und Funktionen getestet, sondern das Zusammenspiel verschiedener Teilnehmer auf der Produktionssystemebene. Im Speziellen werden Fördertechniksysteme betrachtet, für welche trotz standardisierter Komponenten und Bauteile hohe Planungs- und Programmieraufwände bestehen.

Neuere Ansätze zeigen, dass sich prinzipiell eine Unterscheidung zwischen virtueller Inbetriebnahme auf Steuerungsebene sowie auf der Ebene des Materialflusses treffen lässt. (Friebe et al., 2015) beschreiben eine Systematik der Integration der virtuellen Inbetriebnahme in den Prozess der Anlagenentstehung. Sie integrieren dabei definierte Testspezifikationen, eine wählbare Modellierungstiefe sowie ein Vorgehen adaptive Umschaltung auf der Ebene der Einzelanlagen. (Grillitsch und Mayer, 2010) zeigen durch die Entwicklung von Emulationsbausteinen auf, wie die virtuelle Inbetriebnahme von IT-Steuerungssystemen in der Produktionssteuerung in klassische Simulationswerkzeuge integriert werden kann. Die Integration von Material- und Anlagensimulation wird in diesem Kontext von (Meyer und Straßburger, 2013a) aufgegriffen, deren Ansatz sich damit in die Fabrik- und Anlagenebene einordnet. Die Umsetzung erfolgt in den Werkzeugen WinMOD und Plant Simulation; für die Kommunikation kommt ein OPC-Server zum Einsatz. Im Ergebnis wurde nachgewiesen, dass eine flächendeckende Materialflusssimulation mit punktuell höherem Detaillierungsgrad im Sinne der Anlagensimulation nutzbringend ist. Zudem wird aufgezeigt, wie der Übergang von Simulations- in Emulationsmodelle gelingen kann (Meyer und Straßburger, 2013b). (Thiel und Vielhaber, 2017) sehen in der virtuellen Inbetriebnahme einen Erfolgsfaktor für die Umsetzung der Digitalisierung sowie der zukünftigen smarten Produktion und merken an, dass gerade die Modellerstellung noch immer einen aufwändigen Prozess darstellt.

Der aktuelle Stand der Wissenschaft und Technik bietet trotz der Vielfalt an Ansätzen keine geeigneten Lösungen für die aus der planerischen Praxis gestellten Anforderungen. Nachteilig für die praktische Durchdringung dieser Methode ist aktuell noch die aufwändigere Modellerstellung, wodurch die gewonnenen Zeitvorteile der Inbetriebnahme meist überkompensiert werden. Betrachtet man hier nur die planerische Seite, wird ein positiver Gesamtnutzen dieses Ansatzes dadurch erschwert. In der planerischen Praxis von Planungsdienstleistern werden kundenseitig vermehrt Strategien der virtuellen Inbetriebnahme nachgefragt, um insbesondere Investitionsentscheidungen in aufwandsintensive Anlagengüter, beispielsweise automatisierte Fördersysteme und kundenindividuelle Logistiksysteme, abzusichern. Insbesondere gewinnt die Forderung an Bedeutung, bereits in frühen Projektphasen, bspw. der Konzeptplanung, diese Absicherung zu erreichen und die dafür benötigte informationstechnische Kommunikationsstruktur zu definieren.

Aus Unternehmenssicht besteht zudem das Problem, dass aufgrund der Projekt- und Industrievielfalt der betreuten Unternehmen nicht auf einen reinen objektspezifischen Bausteinkasten ähnlich dem VDA Bausteinkasten Ablaufsimulation zurückgegriffen werden kann. Die Materialflusssimulation kommt sowohl während einer Machbarkeitsstudie, Entwurfsplanung oder Ausführungsplanung als auch für Reengineering Projekte zum Einsatz. Zur weiteren Effizienzsteigerung müssen durch eine horizontale Integration die Effizienz im Unternehmen und somit die Wettbewerbsfähigkeit gesteigert werden (Milberg, J. und Reinhart, G. 1997).

3 Lösungsansatz

Aufgrund der unterschiedlichen Einsatzszenarien, der schwankenden Qualität der (Planungs-)Daten und somit des Abstraktionsgrades war die Zielsetzung, einen funktionsorientierten Bausteinkasten zu konzeptionieren und diesen in die aktuelle Vorgehensweise des Planungsdienstleisters zu integrieren (Abbildung 1).

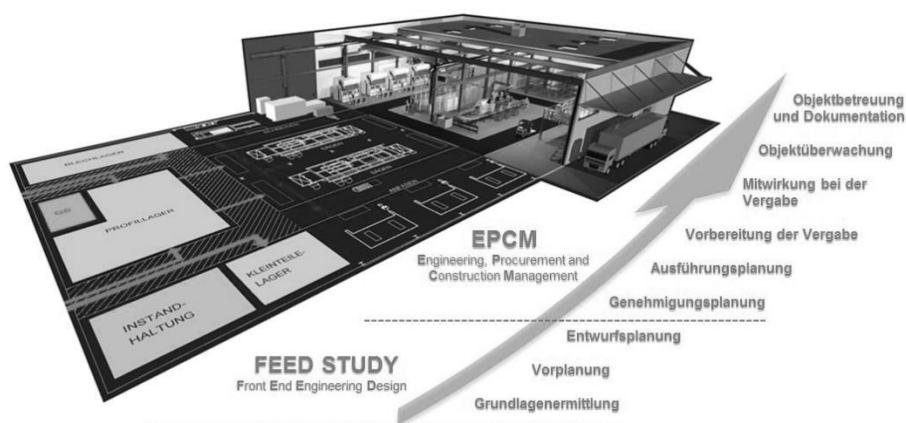


Abbildung 1: Vorgehensmodell Generalplanung Hörmann Rawema, nach VDI-5200 und HOAI

Die Projektabläufe sehen meist eine Kombination verschiedener Leistungsphasen nach HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure), Abläufe nach VDI-5200, aber auch Aufgaben nach VDI-3633 vor.

Im Rahmen von Fabrikplanungsprojekten wird die Materialflusssimulation als Werkzeug zur Dimensionierung von Flächen, Betriebsmitteln und Personal in der Konzeptplanungsphase eingesetzt (VDI 5200). Durch diesen Schritt entsteht ein Modell der Fabrik, welches durch die Anreicherung von Sensordaten der zukünftigen Anlagen Potenziale bietet, zur virtuellen Inbetriebnahme genutzt zu werden. Dies würde den Wert der Simulation im Fabrikplanungsprozess steigern, da jene Daten und Modelle nun mehrfach im Prozess genutzt werden könnten, was zugleich der Planungssicherheit zuträglich wäre. Gleichzeitig wird die Problematik des hohen Modellierungsaufwandes der Virtuellen Inbetriebnahme reduziert, da ein Großteil der Modellierungsleistung innerhalb dieses Prozessschrittes geleistet wird.

Um den Mehrwert, sowohl für die eigenen Umfänge, als auch kundenseitig zu steigern, wurde im Rahmen des SAB Forschungsprojektes „Entwicklung einer Systematik zur anlagen- und herstellerübergreifenden Virtuellen Inbetriebnahme von verketteten Produktionssystemen (VIBN)“ die Grundlage für den Einsatzes des Simulators Plant Simulation zur Vorbereitung von Inbetriebnahmen komplexer Anlagensysteme geschaffen (Grzona et al., 2017).

Zum Einsatz kommt hierbei eine Vorgehensweise, die an die VDI-Richtlinie 3633 und dementsprechend an den ASIM Leitfaden für Simulationsbenutzer angelehnt ist (VDI 3633). Dieses Vorgehensmodell wird dem Fabrikplanungsprozess nach VDI-5200 gegenübergestellt und derart integriert, dass die gewünschten Meilensteine und Ergebnisse ermöglicht werden (Abbildung 2).

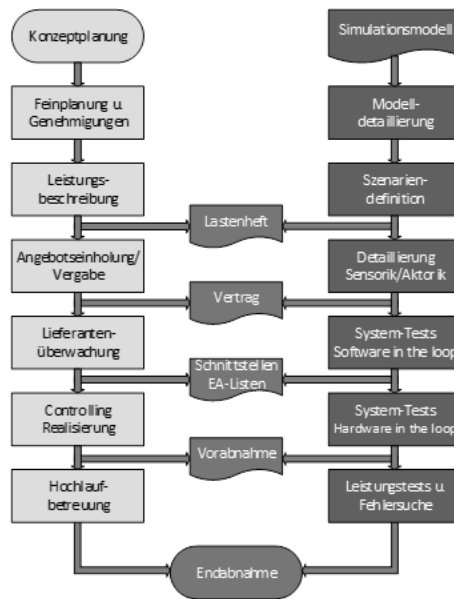


Abbildung 2: Verbindung der einzelnen Aktivitäten nach VDI-5200 und des VIBN Modells

Im Rahmen der Zusammenarbeit mit der Professur Fabrikplanung und Fabrikbetrieb der Technischen Universität Chemnitz konnte hierauf aufbauend der entstandene Bausteinkasten weiter detailliert und mit zusätzlichen Funktionalitäten zu Hardware- und Software-in-the-Loop sowie Versuchsreihen von SPS-gesteuerten Produktionssystemen realisiert werden. Zielsetzung hierbei war, die grundlegenden Funktionen des Simulationsmodelles zur Analyse komplexer und komplizierter Materialflusssysteme beizubehalten und dessen Mehrwert mit nur geringem Zusatzaufwand durch vorgefertigte Bausteine, die grundlegende Funktionalitäten zum Datenaustausch mit OPC UA Servern enthalten, zu steigern.

Zur Erstellung der notwendigen Bausteinstruktur wurde sich intensiv mit den drei Systemkomponenten Simulator, Kommunikationsschnittstelle und physisches Abbild auseinandergesetzt. Aus der fabrikplanerischen Praxis ergeben sich konkrete Anforderungen an ein Simulationsmodell:

- Hohe Usability der einzelnen Elemente,
- Schnelle Erstellung und flexible Anpassung an geänderte Planungsstände,
- Interaktion mit anderen Planungs- und Projektierungswerkzeugen,
- Geringe Einstiegshürden durch Nutzen der Standardbausteine,
- Aussagefähigkeit und Vergleichbarkeit der Simulationsergebnisse.

Als Kommunikationsschnittstelle wurde ein OPC UA Server eingesetzt, der auf einem Siemens Industriepanel läuft und hierbei die Daten in und aus mehreren Steuerungen koordiniert. Entsprechend dem Anwendungsszenario wurde hierbei eine industrieähnliche Netzwerk-Topologie gewählt. Diese besteht aus einzelnen SPS-Steuerungen der Produktionsanlagen, die per OPC UA mit der jeweiligen Fördertechnik per Profinet verbunden sind. Weitere Funktionalitäten, die innerhalb der Simulation durch gezielte Abfrage des Objekt Status erreicht werden, benötigen

zusätzliche Systeme in der Realität, beispielsweise RFID Tags zur Nachverfolgbarkeit in der Anlage (Abbildung 3).

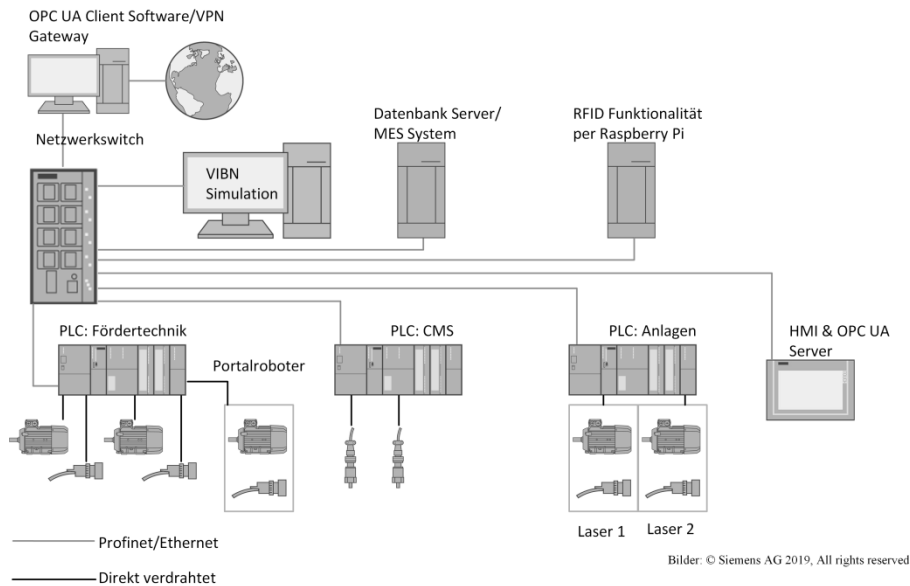


Abbildung 3: Netzwerk-Topologie des Smart-Factory-Demonstrators

4 Umsetzung

Dieser Aufbau wurde in die Realität am Smart-Factory-Demonstrator der Hörmann Rawema umgesetzt. Das physische Abbild entstand nach dem Ansatz, High-Tech-Systeme durch den Einsatz von Low-Cost-Lösungen zu realisieren. Die Fördertechnik besteht größtenteils aus LEGO-Komponenten, die auf eine individuelle S7-SPS aufgeschaltet sind. Die Produktionsanlagen werden durch Lasergravureinheiten dargestellt, welche ebenso durch separate S7-SPS gesteuert werden. Als Ergebnis des Projektes konnte aufgezeigt werden, dass die Implementierung von generischen Bausteinen realisierbar ist, welche sowohl die Emulation als auch die Simulation von ganzheitlichen Fabrikssystemen ermöglichen. Dabei erfolgte die Datenübernahme aus dem Realsystem mittels eines OPC UA Servers, was die Anwendbarkeit des Bausteinkastens bei modernen Anlagen sicherstellt. Die so implementierten Bausteine konnten erfolgreich am Smart Factory Demonstrator und somit an einem realitätsnahen Fabrikssystem validiert werden (Abbildung 4).

Für die Umsetzung wurde ein Modell innerhalb der Simulationsumgebung Plant Simulation aufgesetzt. Das Modell bildet die typischen Grundprozesse innerhalb einer Fabrik ab, wie beispielsweise den Materialtransport mittels Fördertechnik, die Bearbeitung des Produktes oder auch das Handhaben mittels Portalroboter.

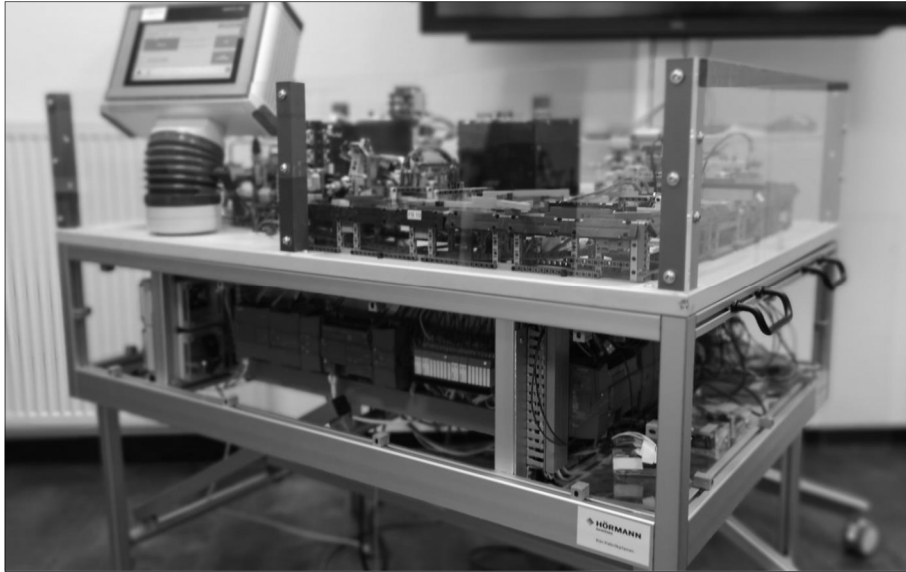


Abbildung 4: Smart-Factory-Demonstrator HREC

Dieses Modell diente entsprechend zur Dimensionierung der Werkstückträger (WT) und Untersuchung der jeweiligen Durchsatzraten unter Einbeziehung der technischen Parameter Bearbeitungszeit und Transportzeiten. Darauf aufbauend wurden die ersten Untersuchungen zur Vernetzung und Kommunikation mit einer SPS gemacht. Im Rahmen der Umsetzung wurden auch die Funktionalitäten der Bausteine weiter detailliert, es entstanden OPC-Bausteine, die eben die jeweilige Kommunikation mit einem definierten OPC Server mitbringen, als auch die Möglichkeit der Umschaltung zwischen einem reinen Planungsmodus, der den Grundfunktionalitäten in Plant Simulation entspricht, und einem Modus zum Lesen bzw. Schreiben der Werte in den OPC UA. Daraus resultiert die Steuerung des Smart-Factory-Demonstrators in der Realität. Abbildung 5 zeigt ein Beispiel für einen Baustein für die Förderstrecke aus der Simulationsumgebung.

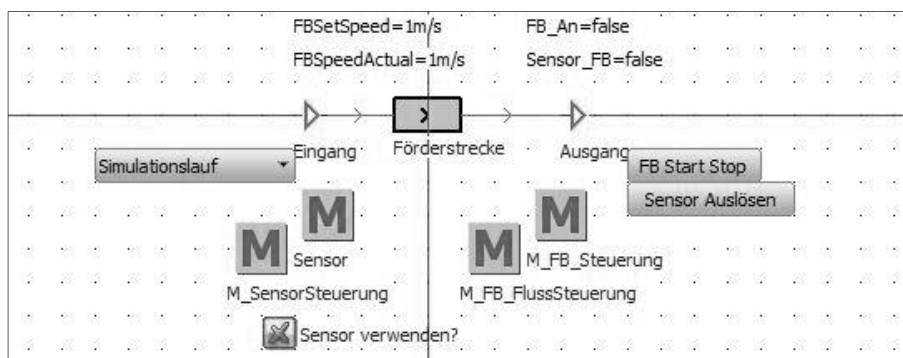


Abbildung 5: Beispiel eines Bausteins für eine Förderstrecke

Ausgehend von der Steuer- und Regelungsstrategie, die bei der Implementation der Simulation erarbeitet und verfeinert wurde, erfolgte die Konzeption und Programmierung der SPS innerhalb des TIA-Portals von Siemens. Hier wurde auch der OPC UA Server, dessen Variablen und Zugriffsrechte projektiert. Hierbei zeigte sich schon während der Erstellung die Vorteile eines zentralen Kommunikationselementes der Simulation, zwischen Anlagenplaner, Fabrikplaner, Fördertechniker und SPS-Programmierer.

Des Weiteren können beim reinen Lesen der Zustände die Daten innerhalb der Simulation als Variante eines digitalen Zwillings zusammengeführt werden. Hierbei bieten sich dem Simulationsingenieur die Möglichkeit, die Methoden zu Steuerung seines Modelles auf reale Sensoren herunterzuberechnen. Eingesetzt wurde dies beispielsweise bei der Auswahl der Sensorik mit zusätzlicher Funktionalität für die Erkennung der jeweiligen Farbe auf den Werkstückträgern. Während der Detaillierung in der Simulation zeigte sich die Notwendigkeit, weitere Informationen mit dem WT mitzuführen. Diese sind hauptsächlich produktrelevant, beispielsweise für die Kopplung an das Manufacturing Execution System (MES). Über die RFID Tags werden u.a. zusätzliche Informationen über das Produkt sowie den Produktionsprozess zugeordnet und damit dezentral transportiert.

5 Fazit und Ausblick

Ziel des beschriebenen Vorhabens war es, einen validen, generischen Bausteinkasten für Fabrikplanungsingenieure zu entwickeln und anzubieten, welcher ermöglicht, virtuelle Inbetriebnahmen mit einer ihnen bekannten Softwareumgebung zu realisieren. Der analysierte Stand der Wissenschaft und Technik wird den gestellten Anforderungen nach Praxistauglichkeit, Modellierungsaufwand sowie flexiblem Einsatz in unterschiedlichen Planungsphasen nicht gerecht. Der im vorliegenden Beitrag skizzierte Ansatz stellt einen vielversprechenden Ausgangspunkt für den praxistauglichen Einsatz der virtuellen Inbetriebnahme in der Fabrikplanung dar. Durch die exemplarische Kopplung universeller Simulationsbausteine mit dem Smart-Factory-Demonstrator wurde das Konzept zur erfolgreichen Anwendung gebracht. Um das anfänglich gesteckte Ziel zu erreichen, muss der entwickelte Bausteinkasten in verschiedenen Fabrikplanungsprojekten evaluiert und iterativ optimiert werden.

Literatur

- Bracht, U.; Geckler, D.; Wenzel, S.: Digitale Fabrik: Methoden und Praxisbeispiele. Berlin: Springer Vieweg 2018.
- Frieben, T.; Schneider, M.; Gausemeier, J.; Trächtler, A.: Virtuelle Inbetriebnahme mit wählbarer Modellierungstiefe. ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 110 (2015) 4, S. 227–232.
- Grillitsch, U.; Mayer, G.: Auf dem Weg zum Standard - Virtuelle Inbetriebnahme von IT-Systemen in der Produktionssteuerung. In: Zülch, G.; Stock, P. (Hrsg.): Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal: KIT Scientific Publishing 2010, S. 591–598.
- Grzona, P.; Knüpfer, P.; Hildebrand, T.; Günther, U.; Füssel, H.: Anlagen- und herstellerübergreifende virtuelle Inbetriebnahme von verketteten

- Produktionssystemen. TBI 2017 - Arbeitswelten 4.0 - Chancen, Herausforderungen, Lösungen (2017), S. 57–64.
- Kövari, L.: Konzeption und Realisierung eines neuen Systems zur produktbegleitenden virtuellen Inbetriebnahme komplexer Förderanlagen. Karlsruhe 2011.
- Meier, H.; Kreusch, K., 2000: Virtuelle Maschinen für eine realistische Simulation. *wt Werkstatttechnik* 90, 2000 (1/2), S. 19–21.
- Meyer, T.; Straßburger, S.: Integrierte virtuelle Inbetriebnahme. *wt Werkstatttechnik online* 103 (2013a) 3, S. 177–183.
- Meyer, T.; Straßburger, S.: Methode zur teilautomatischen Generierung von Emulationsmodellen. In: Dangelmaier, W.; Laroque, C.; Klaas, A. (Hrsg.): *Simulation in Produktion und Logistik - Entscheidungsunterstützung von der Planung bis zu Steuerung*. Paderborn: HNI-Verlagsschriftenreihe 2013, S. 741–750.
- Milberg, J.; Reinhart, G. (Hrsg.): *Rationelle Nutzung der Simulationstechnik: Entwicklungstrends und Praxisbeispiele*. München: Utz 1997.
- Römberg, S.: Virtuelle Inbetriebnahme: Innovative Entwicklungen im Bereich der Digitalen Fabrik. In: 2. Symposium "Digitale Fabrik", Leipzig, 24. Juni 2004. Leipzig: 2004. 2004.
- Thiel, I.; Vielhaber, M.: Virtuelle Inbetriebnahme zur Absicherung flexibler Produktionssysteme. In: Wenzel, S.; Peter, T. (Hrsg.): *Simulation in Produktion und Logistik*. Kassel: kassel university press 2017, S. 451–458.
- Verein Deutscher Ingenieure VDI 5200: VDI 5200 Blatt 1 - Fabrikplanung - Planungsvorgehen. Berlin: Beuth Verlag, Februar 2011.
- Verein Deutscher Ingenieure VDI 3633: VDI 3633 - Blatt 1 - Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen - Grundlagen. Berlin: Beuth Verlag, Dezember 2014.
- Verein Deutscher Ingenieure VDI/VDE 3693: Virtuelle Inbetriebnahme - Modellarten und Glossar. Berlin: Beuth Verlag, August 2016.
- Wünsch, G.: *Methoden für die virtuelle Inbetriebnahme automatisierter Produktionssysteme*: Dissertation TU München, 2007.
- Zäh, M.F.; Spitzweg, M.; Munzert U., V.W.: Hardware-in-the-Loop-Simulation in Virtual-Reality-Umgebungen. In: Gausemeier, J. (Hrsg.): *Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung*. Paderborn 2005,