

Simulation von Wertstromprozessen mit Hilfe eines Modulbaukastens

Tobias Preiß und Walter Wincheringer

Die Notwendigkeit zur Simulation von Wertstromprozessen wird erläutert und die Entwicklung eines Modulbaukastens zur Wertstrom-Simulation. Dieser zielt auf die Unterstützung von Unternehmen bei der stetigen Optimierung der Produktionsabläufe ab. Demzufolge werden mit Hilfe des Modulbaukastens auftragspezifische Wertstromsimulationen ermöglicht. Der Modulbaukasten umfasst alle notwendigen und flexibel einsetzbaren Wertstromkomponenten mit den maßgeblichen Prozess- und Transportkenngrößen sowie standardisierter wertstromspezifischer KPIs.

Produktionsunternehmen agieren im Rahmen eines komplexen Umfelds und stehen vor kontinuierlich wachsenden Anforderungen. Insbesondere der zunehmende Wettbewerbsdruck, bedingt durch die beispiellose Globalisierung der letzten Jahrzehnte, die stetige Lieferbereitschaft von kundenindividuellen Produkten, sowie die damit verbundene Variantenkomplexität in der Produktion, verstärken diese Entwicklung [1, 2]. Die Berücksichtigung der klassischen Produktionszielgrößen Kosten, Qualität und Zeit sind nicht mehr ausreichend. Neue Zielgrößen wie Varianten- und Stückzahlflexibilität, Transparenz, Lieferfähigkeit und Liefertreue, sind gleichwertig zu betrachten und ganzheitlich zu optimieren [3].

Starre Verkettungen der Produktionseinrichtungen werden den Anforderungen nicht mehr gerecht und werden mehr und mehr durch flexible Produktionsstrukturen ersetzt. Dabei werden die einzelnen Arbeitsstationen nach dem Werkstattfertigungs- oder Inselprinzip angeordnet und durch fahrerlose Transportsysteme verkettet. Die damit verbundenen Konsequenzen im Produktionsablauf auf die Produktivität und Durchlaufzeit (DLZ) sind mit statischen Verfahren nicht hinreichend kalkulierbar. Daraus ergibt sich die Anforderung einer produktspezifischen Wertstromsimulation. Die Simulation eines Produktionsprozesses ist jedoch gegenwärtig, durch die notwendige Einbeziehung von Produktionsexperten, Wertstromoptimierern und Simulationsexperten, mit einem hohen Zeit- und Kostenaufwand verbunden. Die Wertstrommethodik, zur Analyse und Optimierung von Produktionsprozessen, hat sich in den letzten Jahren immer mehr in der Praxis etabliert und bewährt. Dabei werden wertstromspezifische Kenngrößen (KPIs) ermittelt, die das Erkennen von Verschwendungen (Abtaktverluste, Bestände, etc.) erleichtern. Dies basiert jedoch

auf einer statischen Betrachtung der Produktionsabläufe. Der Fachmann erkennt schnell die Einschränkung gegenüber dem realen Produktionsprozess, da dieser in der Praxis einer erheblichen Dynamik von unterschiedlichen Ereignissen unterliegt (technische, organisatorische Störungen, Qualitätsmängel etc.). Will man jedoch ein weitgehend reales Abbild der Produktion erhalten, um Investitionen, Bestands- und Durchlaufzeitoptimierungen oder Produktivitätssteigerungen abzusichern, ist eine Simulation des Wertstroms eine zwingende Voraussetzung.

Auf dieser Problemstellung baut die Entwicklung des Modulbaukastens zur Simulation von Wertstromprozessen auf. Unter Berücksichtigung der erforderlichen Produktions- und Materialflussprozesse mit den dynamischen Prozesseinflussgrößen, den Steuerungslogiken des Materialflusses und der Ermittlung von KPIs, wird eine produktspezifische Wertstromsimulation ermöglicht. Dadurch wird eine Flexibilität und Transparenz bei der Wertstromsimulation, bei gleichzeitiger Minimierung des Modellierungsaufwands für die Simulation, erreicht.

Stand der Entwicklung

Neben den bewährten Ansätzen der Wertstromanalyse (WSA) und der Produktionssimulation, sind verschiedene Entwicklungskonzepte zu berücksichtigen.

Wertstromanalyse

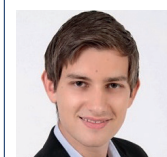
Die WSA ist ein weitverbreitetes Instrument zur Untersuchung von Produktionsprozessen. Der Fokus liegt auf der Erkennung und Vermeidung von Verschwendung, durch eine strukturierte Vor-

In diesem Beitrag lesen Sie:

- ✓ warum die Notwendigkeit zur Simulation von Produktionsprozessen stetig zunimmt,
- ✓ welche Vorteile die Wertstromanalyse zur Optimierung bietet und
- ✓ wie mit Hilfe eines Modulbaukastens die Simulation von Produktionsabläufen effizient möglich ist.



Prof. Dr.-Ing. Walter Wincheringer leitet das Fachgebiet Ganzheitliche Produktionssysteme, Industrie 4.0 sowie das Digitale Produktionslabor an der University of Applied Sciences Koblenz.



M. Sc. Tobias Preiß arbeitet bei der Deloitte Consulting GmbH, im Fachgebiet Enterprise Applications / SAP mit Fokus auf Produktion und Planung.

www.hs-koblenz.de/rmc/fachbereiche/ingenieurwesen/maschinenbau/forschung-projekte/digitales-produktionslabor/

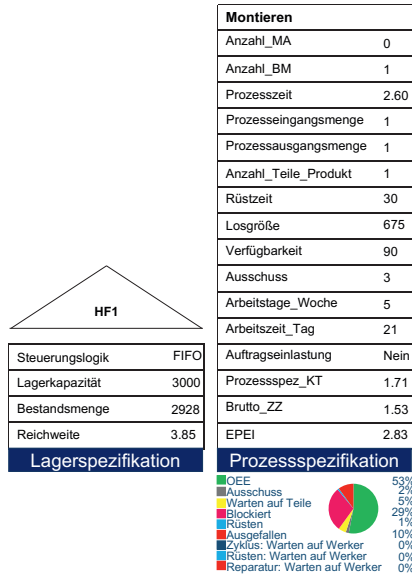


Bild 1: Darstellung der digitalen Wertstromobjekte Lager und Produktionsprozess

gehensweise zur transparenten Darstellung von Produktionsprozessen, mit Hilfe von Symbolen und Kennzahlen [4]. Hierzu wird der Wertstrom mit sechs Grundelementen modelliert und anhand von Kennzahlen analysiert.

Auf diesen Erkenntnissen und acht Gestaltungsrichtlinien baut das anschließende Wertstromdesign (WSD) auf und ermöglicht so die optimierte Gestaltung der Produktion. Dabei wird primär ein effizienter, kundenorientierter Wertstrom mit geringen Umlaufbeständen und möglichst gleichmäßiger Auslastung der Produktionsprozesse angestrebt [5].

Im Gegensatz dazu liegt der Fokus bei Kudlich [9] auf der Anwendung von Optimierungsalgorithmen, welche Anpassungen an den festgelegten Prozessparametern beabsichtigen. Hierzu implementiert Kudlich eine Datenbank als Hilfsmittel zur integrierten, simulationsgestützten Optimierung des Materialflusses.

Eine weitere Entwicklung stellt die digitale Fabrik dar. Im Vordergrund stehen die Entwicklung der ausschlaggebenden Wertstromkomponenten sowie die Realisierung von Wertstromoptimierungen, durch die Anpassung der Parameter im Kontext der Ablaufsimulation. Gleichzeitig wird, ähnlich wie bei Lütjen, eine flexible, benutzerfreundliche Modellierung angestrebt [10].

Ähnlichen Ansätze beschreiben Andrade u. a. [11] sowie Abele u. a. [12]. Hier wird, neben der wertstromspezifischen Modellierung, eine wertstromspezifische Darstellung bei der Simulation berücksichtigt. Hierzu werden Wertstromoptimierungen zugrunde gelegt, welche nicht ausschließlich auf Parameteranpassungen beruhen, sondern zusätzliche Szenarios für Steuerungslogiken berücksichtigen.

Methodik des Modulbaukastens

Die Festlegung einer Methodik zur Entwicklung des Modulbaukastens resultiert u.a. aus der Verknüpfung der bisherigen Entwicklungsansätze. Demzufolge werden im Rahmen der Entwicklung eine strukturierte Vorgehensweise, eine transparente und einheitliche Darstellung sowie die komplexitätsreduzierte Aufbereitung der WSA integriert. Gleichzeitig wird mit Hilfe der Simulation die notwendige Flexibilität und Dynamik, sowie die Analyse, über einen längeren Zeitraum ermöglicht.

Weiterhin erfolgt eine modulare Entwicklung der maßgeblichen Prozesse, Steuerungen und Optimierungen in Form von benutzerfreundlichen, flexibel einsetz- und anpassbaren Modulen.

Entwicklung der digitalen Wertstromkomponenten

Die programmtechnische Integration der digitalen Wertstromkomponenten in den Modulbaukasten basiert auf den Grundelementen der Wertstrommethodik:

- **Kundenbedarfe:** implizieren die von den Produktionsprozessen abzudeckende Kundennachfrage.
- **Produktionsprozesse:** beinhalten die unmittelbaren Produktionstätigkeiten zur Deckung der Kundenbedarfe.

Produktionssimulation

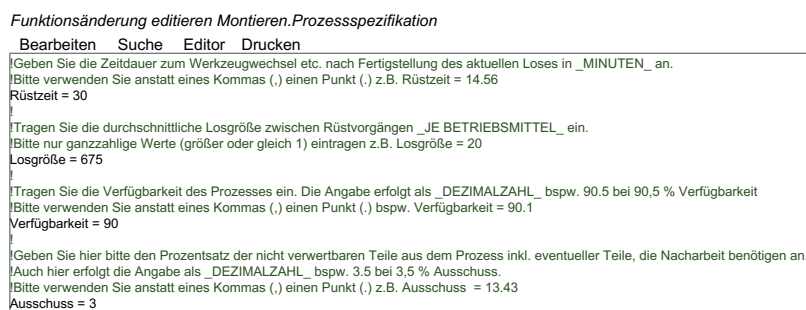
Produktionssimulationen stellen bei der Vielzahl volatiler Herausforderungen einen elementaren Ansatz zur Planungsunterstützung in der Produktion dar. Dabei werden die veränderten Rahmenbedingungen in der Simulation genutzt, um die daraus resultierenden Effekte in den Produktionsabläufen zu analysieren und geeignete Maßnahmen abzuleiten [6].

Ein besonderer Fokus liegt auf der Ablaufsimulation der Produktion. Diese umfasst eine ereignisdiskrete Simulation, die eine zeitbezogene Produktionsmodellierung, unter Einbeziehung stochastischer Einflussparameter, ermöglicht. Somit ist eine Bewertung der Leistungsfähigkeit der geplanten Produktionsprozesse möglich. Komplexe Produktionssysteme können grafisch modelliert und realitätsnah simuliert werden [7].

Bisherige Entwicklungsansätze

Einen Ansatz zur integrierten Planung und Simulation von Produktionsszenarien hat Lütjen [8] in dem Konzept „GRAMOSA“ entwickelt. Hierzu werden maßgebliche Prozesse und Steuerungen als Elemente modelliert und sind flexibel einsetz- und anpassbar.

Bild 2: Ausschnitt Dateneingabemaske des Moduls Produktionsprozess



- **Materialflusssteuerungen:** integrieren den Materialtransport einschließlich der Bestände zwischen den Produktionsprozessen, Lager etc.
- **Lager:** berücksichtigen das Einlagern und die Mengenzusammensetzung von Gütern und
- **Lieferanten:** implizieren die Bereitstellung der benötigten Lieferteile und Rohstoffe.

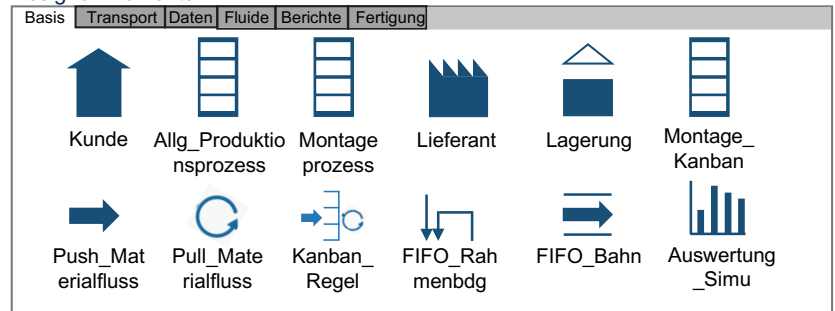
Zur Ergänzung der Materialflusssteuerungen wird eine FirstInFirstOut-Verkopplung und eine Kanban-Regelung in den Modulbaukasten integriert.

Der Entwicklungsprozess setzt eine benutzerfreundliche Handhabung mit flexibel einsetz- und anpassbaren Komponenten in den Mittelpunkt, welche dem Anwender eine produktspezifische Wertstromsimulation, mit deutlich reduziertem Modellierungsaufwand ermöglicht. Dieser wird durch eine komponentenspezifische zentrale Dateneingabemaske realisiert und vermeidet somit die Erstellung von Programmierbefehlen durch den Anwender. Ausschlaggebend hierfür ist die folgende Struktur:

1. **Einflussfaktoren:** maßgebliche Einflussfaktoren der digitalen Wertstromkomponenten und die damit verbundenen sowie benötigten Anwenderdaten werden festgelegt (bspw. Lagerkapazität, Transportzeit, usw.).
2. **Softwareelemente:** definierte Softwareelemente, die zur Modellierung der digitalen Wertstromkomponente beitragen und die Integration der Einflussfaktoren ermöglichen, werden ausgewählt (z. B. Variablen, Funktionen, Maschinen, etc.).
3. **Programmierbefehle:** Programmierbefehle, welche die Umsetzung der Einflussfaktoren mit Hilfe der Softwareelemente unterstützen, werden entwickelt. Darüber hinaus erfolgt im Zuge der Programmierbefehle die Verknüpfung der Anwenderdaten innerhalb der digitalen Wertstromkomponente.
4. **Grafische Darstellung:** Visualisierung der digitalen Wertstromkomponenten und der Anwenderdaten in der Produktionssimulationssoftware (siehe Bild 1). Zusätzlich werden die benötigten Anwenderdaten und deren Definitionen zentral hinterlegt (siehe Bild 2).

Analog zu dieser Struktur werden die weiteren digitalen Wertstromkomponenten entwickelt und für den Anwender mit KPIs (OEE, Kundentakt, Lieferfrequenz, Reichweite etc.) vordefiniert. Demzufolge wählt der Anwender die von ihm benötigte Komponente aus und kann diese durch einen Doppelklick auf die Schaltfläche „Prozessspezifikation“ (siehe Bild 1) in einer vorgegebenen Eingabemaske mit den spezifischen Anwenderdaten, wie bspw. der Anzahl der Betriebsmittel, der Prozesszeit, der Anlagenverfügbarkeit, der Losgröße, der Rüstzeit und des Ausschusses, hinterle-

Designer Elemente



gen. Weitere Aktivitäten des Anwenders sind auf Grund der bereits hinterlegten Softwareelemente und Programmierbefehle nicht notwendig. Die anschließende grafische Darstellung basiert auf den Symbolen der WSA.

Realisierung des Modulbaukasten

Die entwickelten digitalen Wertstromkomponenten werden in einen ganzheitlichen Modulbaukasten integriert (siehe Bild 3). Demzufolge wird dem Anwender eine Oberfläche zur Verfügung gestellt, die die flexible produktspezifische Wertstromsimulation unterstützt. Daraufhin wird mit Hilfe einer „Drag and Drop“-Funktion, das „Ziehen und Ablegen“ der jeweiligen Wertstromkomponente aus der Benutzeroberfläche des Modulbaukastens durch den Anwender realisiert.

Im Zuge der anschließenden Eingabe der Anwenderdaten, werden die digitalen Wertstromkomponenten des Modulbaukastens miteinander verknüpft und die produktspezifische Wertstromsimulation ermöglicht.

Anwendung des Modulbaukastens

Die Validierung des Modulbaukastens wurde anhand der Simulation von beispielhaften Wertströmen in der Industrie durchgeführt. Hierzu wird der Wertstrom zunächst mit Hilfe des Modulbaukastens modelliert und anschließend simuliert.

Der Modellierungsprozess umfasst drei Schritte:

1. **Wertstromobjekte:** die digitalen Wertstromobjekte (Kundenbedarfe, Produktionsprozesse, Lager und Lieferanten) werden entgegen der Flussrichtung des Wertstroms aus dem Modulbaukasten in die Simulationsoberfläche durch Drag and Drop integriert. Den Startpunkt stellen somit die Kundenbedarfe und den Endpunkt die Lieferanten dar. Dabei werden auch die digitalen Wertstromkomponenten mit den komponentenspezifischen Daten, durch den Anwender, spezifiziert.
2. **Wertstrom-Steuerungslogiken:** Im zweiten Schritt erfolgt die Implementierung der Steuerungslogiken des Materialflusses. Dabei

Bild 3: Benutzeroberfläche des Modulbaukastens

Literatur

- [1] Distelzweig, A.: Performance Measurement in der Beschaffung, Ein Konzeptvergleich, Karlsruhe 2014.
- [2] Forstner, L. / Dümmler, A.: Integrierte Wertschöpfungsnetzwerke – Chancen und Potenziale durch Industrie 4.0. In: Elektrotechnik & Informationstechnik, Heft 7, S. 199 – 201, 2014.
- [3] Kletti, J. / Schumacher, J.: Die perfekte Produktion, Manufacturing Excellence durch Short Interval Technology (SIT), 2. Auflage, Moosbach 2014.
- [4] Rother, M. / Shook, J.: Sehen lernen – mit Wertstromdesign die Wertschöpfung erhöhen und Verschwendung beseitigen, Version 1.4, o. O. 2011.
- [5] Erlach, K.: Wertstromdesign, Der Weg zur schlanken Fabrik, 2. Auflage, Stuttgart 2010.
- [6] Chramcov, B. u. a.: A simulation approach to achieving more efficient production systems. In: International Journal of Mathematics And Computers in Simulation, Heft 4, S. 299 – 309, 2011.
- [7] Labitzke, N. / Volling, T. / Spengler, T. S.: Wertorientierte Simulation zur Unterstützung der logistischen Prozessgestaltung bei der Stahlherstellung, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Heft 81, S. 771 – 803, 2011.
- [8] Lütjen, M.: Modellierungskonzept zur integrierten Planung und Simulation von Produktionsszenarien entwickelt am Beispiel der CFK-Serienfertigung, Diss., Bremen 2014.
- [9] Kudlich, T.: Optimierung von Materialflusssystemen mit Hilfe der Ablaufsimulation, Diss., Landshut 2000.
- [10] Brüggemann, H. / Müller, P.: Endbericht zum Forschungsprojekt, Produktionsoptimierung in der Digitalen Fabrik (DIGIPRO), Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, Wolfenbüttel 2011.

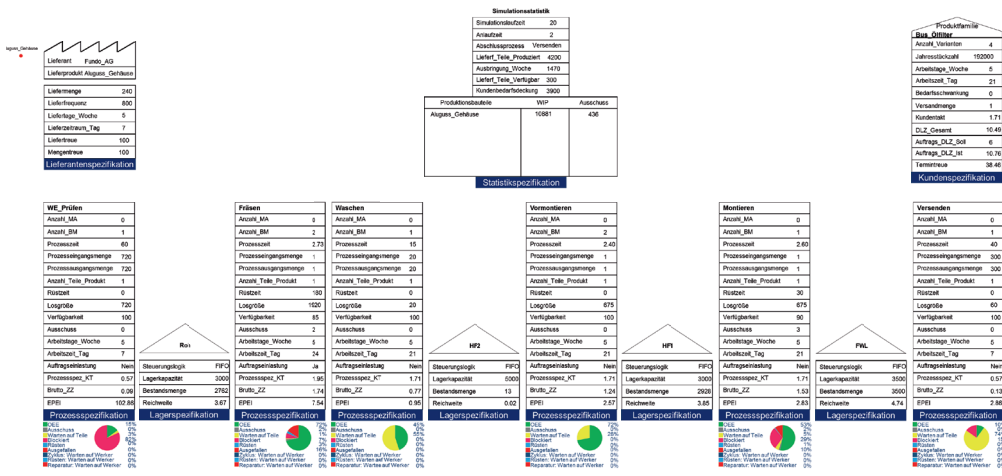


Bild 4: Beispiel Wertstrom zur Validierung des Modulbaukastens

[1]Andrade, P. F. / Pereira, V. G. / Del Conte, E. G.: Value stream mapping and lean simulation: a case study in automotive company. In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Heft 85, S. 547 – 555, 2016.
 [12]Abele, E. / Wolff, M. / Manz, A.: Optimierung von Wertströmen, Mit Lean-Methoden und Materialflusssimulation zu operativer Exzellenz. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Heft 4, S. 212 – 216, 2012.

erfolgt eine flexible Verknüpfung der zuvor integrierten Wertstromobjekte. Es besteht die Möglichkeit Produktionsprozesse mit einer Push-Steuerung, Pull-Steuerung, Kanban-Regelung oder First In First Out-Verkopplung miteinander zu verbinden. Die Steuerungslogiken ermöglichen auch das Zusammenführen oder Splitten von Materialflüssen sowie das Überspringen von Produktionsprozessen. Die Integration der Wertstrom-Steuerungslogiken erfolgt ebenfalls entgegen der Flussrichtung des Wertstroms.

3. **Auswertungsobjekt:** Abschließend erfolgen die Integration des Auswertungsobjekts und die Angabe von auswertungsspezifischen Daten (bspw. Simulationslaufzeit, Anlaufzeit etc.). Nach erfolgreicher Modellierung kann somit die produktspezifische Wertstromsimulation durchgeführt werden. In Abhängigkeit der vom Anwender hinterlegten wertstromspezifischen Daten entsteht somit die in Bild 4 dargestellte Wertstromsimulation, die die gleichzeitige Ermittlung von Simulationsergebnissen sowie die Darstellung von KPIs ermöglicht.

Aus der Modellierung und Simulation des Wertstroms, durch die Nutzung des Modulbaukastens, resultieren vielfältige Vorteile. Diese liegen in erster Linie in der flexiblen, transparenten, komplexitätsreduzierenden, effektiven und effizienten produktspezifischen Wertstromsimulation. Daraus ergeben sich enorme Zeit-, Personal- und Kostenersparnisse, verbunden mit aussagekräftigen Simulationsergebnissen, die eine fundierte Basis für Entscheidungen in der Produktionsplanung und -steuerung, als auch bei Optimierung der Zielkenngrößen (u. a. DLZ, Flussgrad, Auslastungsgrad) bieten.

Darüber hinaus ist insbesondere der mit dem Modulbaukasten einhergehende zeitliche Vorteil bei der Modellierung und Simulation hervorzuheben. Demzu-

folge umfasst der reguläre zeitliche Aufwand eines Simulationsprojekts oftmals vier bis acht Mannwochen für Programmierungen und Eingaben, welche ggf. zusätzlich extern beauftragt werden müssen. Demgegenüber umfasst der zeitliche Aufwand durch die interne Anwendung des Modulbaukastens nur wenige Personentage.

Ausblick

Der entwickelte Modulbaukasten zur Simulation von Wertstromprozessen, unterstützt die Unternehmen bei der Bewältigung der kontinuierlich anwachsenden Produktionsanforderungen. Demzufolge sind mit Hilfe des entwickelten Modulbaukastens produkt- und auftragspezifische Wertstromsimulationen möglich, die gezielte Optimierungen, in Bezug auf die Herausforderungen:

- stetige Lieferbereitschaft,
- kundenindividueller Produkte,
- Variantenkomplexität und
- grundlegenden Kosten- und Durchlaufzeitoptimierungen,

ermöglichen. Der Modulbaukasten umfasst alle notwendigen und flexibel einsetzbaren Wertstromobjekte sowie Wertstrom-Steuerungslogiken, die innerhalb der Wertstromoptimierung zum Einsatz kommen. Des Weiteren sind die notwendigen Prozess- und Transportgrößen in den einzelnen Modulen programmiertechnisch integriert und werden vom Anwender (interner Mitarbeiter z.B. der Produktionsplanung oder Arbeitsvorbereitung) durch einfache Dateneingabe bereitgestellt. Darin ist zudem die Ermittlung und grafische Aufbereitung der Simulationsergebnisse und die Darstellung von typischen KPIs enthalten.

Infolge der Entwicklung des Modulbaukastens wird eine effektive und effiziente Vorgehensweise zur Durchführung einer auftragspezifischen Wertstromsimulation ermöglicht. Die Umsetzung in ein professionelles Softwaretool, ggf. in Verbindung mit einer bestehenden Wertstromerfassungs- und Wertstromdokumentationssoftware, wird zukünftig angestrebt. So könnte ein integriertes Wertstrom-Dokumentations- und Simulations-Tool als „Software as a Service“ (SaaS) von Produktionsunternehmen kostengünstig temporär genutzt werden.

Schlüsselwörter:

Wertstromanalyse, Wertstromoptimierung, Simulation, Software, Modulbaukasten, Variantenflexibilität, Produktionsoptimierung, KPIs

Simulation of Value Stream Processes with a Modular Software Kit

The need to simulate value stream processes is explained and the development of a modular software kit for simulation. This aims to support production companies in constantly optimizing production processes. Consequently, application-specific value stream simulations are made possible with the aid of the modular software kit. The modular kit includes all necessary and flexible value stream components with the relevant processes and material transport characteristics as well as standardized value stream specific KPIs.

Keywords: Value Stream Mapping, Value Stream Optimization, Value Stream Design, Simulation, Software, Modular Software Kit, Product Variants Flexibility, Production Optimization, KPI