

Wertstrommodellierung und -simulation im Zeichen von Digitalisierung und Industrie 4.0

Eine App zur Produktionsoptimierung

*Tobias Meudt,
Joscha Kaiser,
Joachim Metternich und
Sven Spieckermann,
Darmstadt/Hanau*

Die Wertstrommethode sowie -simulationen von Produktionsabläufen sind etablierte Vorgehensweisen, die in zahlreichen produzierenden Unternehmen zum Einsatz kommen. Sie werden heute typischerweise unabhängig voneinander eingesetzt. Die Wertstrommethode bedient sich auch Zeiten in von Industrie 4.0 meistens noch analoger Hilfsmittel wie Klemmbrettern und Flipcharts. Hier setzte das Forschungsprojekt MobiSim an, das Wertstromanalyse und -design direkt an der Fertigungslinie digitalisiert und mit zeitdynamischer Simulation verknüpft. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse des Projekts und die Funktionalität der App SimVSM vorgestellt.*)

I Ausgangssituation

Methoden der Schlanke Produktion leisten seit Jahren einen entscheidenden Beitrag zum Erfolg produzierender Unternehmen. Das Ziel dieser Methoden besteht in der Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens durch die Eliminierung von Verschwendungen innerhalb der internen und auch externen Wertschöpfungskette [1]. Den Hintergrund bilden dabei die Entwicklung von Systemen mit minimalen Beständen, maximaler Produktivität bei kurzen Durchlaufzeiten und der daraus resultierenden effizienten Nutzung von Ressourcen [2].

Die Wertstrommethode (WSM) hat sich in diesem Kontext als eine weit verbreitete und einfach anzuwendende Methode etabliert, um die Potenziale der schlanke Produktion zu adressieren [3]. Der

Fokus dieser Methode liegt nicht auf der Verbesserung einzelner Prozesse, sondern vielmehr auf der Verbesserung der gesamten Prozesskette, angefangen beim Wareneingang, bis zur Auslieferung von fertigen Gütern [4]. Etwa 60 Prozent der deutschen Unternehmen nutzen die Wertstromanalyse (WSA) und viele von ihnen haben bereits signifikante Verbesserungen erreichen können [5]. Trotz der Beliebtheit der WSA weist sie einige Defizite auf. Die Anwendung der WSA führt in der Regel zu einer Momentaufnahme des betrachteten Systems. Eine falsche Wahrnehmung der Ergebnisse dieser Momentaufnahme (und damit der Analyse) ist möglich, da sich beispielsweise Bestände, Auftragslage, Zykluszeiten, Ausfall von Menschen oder Maschinen, etc. über die Zeit ändern. Darüber hinaus ist der optimale Umsetzungsgrad von Prinzipien des Wertstromdesigns (WSD) schwer zu bestimmen. Das Ausmaß der Verbesserung kann vor der physischen Implementierung nicht quantifiziert werden [6]. Eine konkrete Umstellung eines Wertstroms erfolgt meistens durch Ausprobieren und sukzessives kontinuierliches Verbessern [7].

Somit sehen sich Anwender damit konfrontiert, auf die korrekt angewendeten Wertstromdesign-Richtlinien oder das Erfahrungswissen von Beratern vertrau-

en zu müssen. Entscheidungsträger von der Vorteilhaftigkeit vorgeschlagener Verbesserungen zu überzeugen ist selbst für erfahrene Experten aus dem Bereich der schlanke Produktion keine leichte Aufgabe.

Durch den Einsatz von Materialflusssimulationen können die Einschränkungen der WSM teilweise beseitigt werden. Simulation ist für Systeme mit einem komplexen Materialfluss, bei dem analytische Ansätze an ihre Grenzen stoßen, effektiv anwendbar [8]. In diesem Kontext gewinnt die vorhergehende Quantifizierung möglicher Ausgestaltungen der Produktionssysteme mittels einer Wertstromsimulation zunehmend an Bedeutung. Durch die Nutzung einer Simulation kann ein komplexer Prozess während seines ganzen Lebenszyklus, von der Planung bis zur Umsetzung, analysiert und verbessert werden [9]. Zurzeit ist die Methode der diskreten Ereignissimulation (DES) v. a. in der Simulation und Analyse von Materialflüssen verbreitet [10]. Zudem können die Methoden der Systemdynamik und der agentenbasierten Simulationen dazu eingesetzt werden Materialflüsse zu simulieren [11]. Dass die Kombination der Wertstromanalyse mit der Methode der Wertstromsimulation zweckmäßig sein kann, zeigt eine Reihe von Veröffentlichungen in diesem Umfeld [12].

*) Danksagung

Der Inhalt dieses Beitrags bezieht sich auf Teilergebnisse des Projekts MobiSim, das mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung „BMBF“ im Rahmen des Programms KMU-innovativ: IKT gefördert wurde (Förderkennzeichen 01IS15025). Wir danken unseren Kooperationspartnern Uwe Heisel und Corinna del Rio, DATRON AG und Herrn Friedbert Bohlender, Bosch Rexroth GmbH.

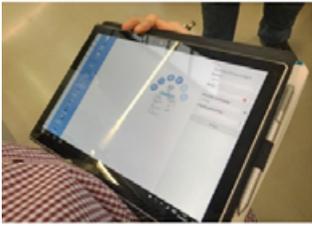


Bild 1. Einsatz der MobiSim-App auf dem Shopfloor

Ähnlich wie die WSA in produzierenden Unternehmen an Bedeutung gewonnen hat, erhalten seit einiger Zeit die mobilen Anwendungen immer mehr Aufmerksamkeit seitens der Unternehmen. Sie sind ein Wegbereiter der Prozessoptimierung und Digitalisierung im täglichen Betrieb. In der vorliegenden Publikation werden die Potenziale und die konkrete Anwendung einer neuartigen Analyse- und Optimierungstechnologie der mobilen Wertstromsimulation vorgestellt.

Wertstrommethode und -simulation

Die Wertstrommethode

Die Wertstrommethode ist ein ganzheitlicher Ansatz zum Erreichen von Verbesserungen auf der Produktionssystemebene. Die Methode eignet sich zur Analyse gesamter Wertströme einer Produktfamilie, vom Wareneingang bis zur Auslieferung der fertigen Erzeugnisse [13]. Vereinfacht lässt sich die Wertstrommethode in die folgenden Phasen gliedern:

- Auswahl der Produktgruppe,
- Analyse/Abbildung des vorliegenden Zustandes,
- Design/Entwicklung des zukünftigen Zustandes sowie
- Arbeitsplan/Umsetzung.

Im Folgenden wird zwischen der Analyse (WSA) und dem Design (WSD) unterschieden [14]. WSA liefert eine praktische Methode, den vorliegenden Zustand des Materialflusses innerhalb des Produktionssystems zu identifizieren und zu bewerten [15]. WSA beinhaltet eine Form der Modellierung, bei der Wissen gewonnen wird, welches durch eine passende Interpretation zurück in die Realität übertragen werden kann [16]. Das Ergebnis der WSA ist ein auswertbares Modell des gegenwärtigen Zustandes eines ausgewählten Materialflusses innerhalb des physischen Produktionssystems. Es werden sowohl wertschöpfende als auch nicht-wertschöpfende Aktivitäten betrachtet.

Nachdem die WSA abgeschlossen ist, wird ein Idealzustand des Wertstroms de-

finiert. Um Verbesserungspotenziale des vorliegenden Zustandes herzuleiten, bieten Rother und Shook einen Design-Leitfaden an [17]. Der zukünftige Zustand kann schrittweise praktisch umgesetzt werden [18]. In der Wissenschaft und Praxis wird die Verfolgung mehrerer Zielsetzungen erwähnt [19].

Einführung in die Wertstromsimulation
Wertstromsimulation erlaubt eine Bewertung von Designalternativen und Verbesserungsmaßnahmen durch deren Modellierung und dynamische Untersuchung (die analytisch nicht abgebildet werden können) bevor diese in der Realität implementiert werden [7]. Im Produktions- und Logistikbereich werden vorzugsweise diskrete Ereignissimulationen (DES) eingesetzt [15]. DES war lange Zeit die am stärksten verbreitete Simulationstechnologie im Bereich des Operations Research. Dies gilt auch für Materialflusssimulationen [20]. Durch die quantitative Nutzenbewertung von Verbesserungsmaßnahmen kann beispielsweise ihre finanzielle Auswirkung im Voraus bestimmt werden. Diverse Autoren schlagen bereits eine Verbindung von Wertstromsimulation und WSA vor [13, 14, 22].

Digitalisierung der Wertstromaufnahme durch Einsatz einer Wertstrom-Simulations-App

Eine der wesentlichen Ideen des MobiSim-Projekts, eines im Rahmen der Fördermaßnahme „KMU-Innovationsoffensive IKT“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Verbundprojekts, ist die möglichst einfache, intuitive und effiziente Digitalisierung des Wertstrommanagements. Eine wesentliche Anforderung dabei ist, dass diese Digitalisierung nicht fernab der Linie an den PCs der Fertigungsingenieure, sondern unmittelbar ganz im Sinne der Konzepte der Schlanke Produktion direkt an der Linie stattfinden soll. Aus diesem Grund hat das Projekt von Beginn an den Ansatz verfolgt, Wertstrommodel-

lierung auf mobilen Endgeräten (Tablets) zur Verfügung zu stellen.

Entstanden ist eine Applikation, die mit der für diese Art der Technologie üblichen Gestensteuerung arbeitet und durch „Wischen, Antippen und Ziehen“ den Aufbau eines Wertstroms am Tablet ermöglicht (Bild 1).

Ein Benutzer kann in dieser App aus einem Katalog standardisierte Wertstromsymbole, wie z.B. Prozesskästen, Bestände oder Lieferanten, (dunkles Band mit Symbolen im linken Teil der App; vgl. Bild 1) auswählen und diese durch einfaches Ziehen mit dem Finger auf der Modellierungsfläche (weiße Fläche im zentralen Teil der App; vgl. Bild 1) positionieren und danach miteinander verbinden. Durch Eintragen der Prozessdaten wie Zyklus- oder Rüstzeiten bildet das entstehende Modell zunehmend besser die Realität ab. Somit kann sukzessive ein gesamter Wertstrom modelliert und direkt analysiert werden.

Nach Fertigstellung des Modells kann ein erster Simulationslauf gestartet werden um die Güte des Modells zu begutachten. Dabei wird überprüft, ob die Auslastungswerte der modellierten Arbeitsstationen und Lagerbestände plausibel sind. Wenn die Werte die Realität hinreichend genau abbilden und somit das Modell für weitere Optimierungen des Wertstroms herangezogen werden kann (Bild 2), können alternative Wertströme modelliert werden.

Wertstromdesign und Bewertung von Lösungsalternativen

In dem meisten Fällen wird bei einem WSD durch Erfahrungswissen und adäquates Anwenden von Gestaltungsrichtlinien ein neues Design mit Stift und Papier entwickelt. Ein wesentlicher Vorteil von Simulationsmodellen ist es, Prozesse dynamisch darzustellen. Dies vereinfacht die Entwicklung von Alternativen, die unmittelbar bewertbar werden, sodass letztlich die beste Alternative für ein Umsetzungsprojekt ausgewählt werden kann. Die Ungewissheit, die dynami-



Bild 2. Darstellung eines Simulationsmodells und der Ergebnisse zur Verifizierung des modellierten Wertstroms

schen Änderungen der Produktionsnachfrage und der eigenen Prozesse nicht betrachtet zu haben, wird durch Materialflusssimulationen genommen.

Im konkreten Anwendungsfall der Wertstrom-App ist es möglich, unterschiedliche Alternativen eines WSD schnell zu entwickeln und zu bewerten. In der App kann der analysierte und modellierte Wertstrom einfach kopiert und als separate Alternative eingefügt werden. Diese und weitere angelegte alternative Wertströme lassen sich dann nach Belieben modifizieren: Beispielsweise kann ein Push-Lager durch einen Supermarkt oder gar durch eine FIFO-Bahn ausgetauscht werden, separate Prozesse werden im Fluss als Linie angeordnet, es werden andere Schichtmodelle gewählt oder Puffer werden neu ausgelegt.

Nach Abschluss der Wertstromgestaltung werden die alternativen Modelle zur Simulation an die Backend-Software PlantSimulation abgeschiedt (Bild 5 für das Softwaredesign der App). Die Simulation wird dort gestartet und die Ergebnisse (Kennzahlen) werden zurück an das

mobile Endgerät übertragen. Auf einer separaten Übersichtsseite können nun beispielsweise Durchlaufzeiten oder Bestände des ursprünglichen Modells mit dem neuen Modell verglichen und die Maßnahmen bewertet werden.

Oftmals werden mehrere Schritte gleichzeitig verändert und ein positiver Effekt einer Maßnahme wird durch einen negativen Einfluss einer anderen Maßnahme vermindert. Die Einflüsse einzelner Veränderungen sind nicht ohne weiteres nachvollziehbar. Dies kann vermieden werden, wenn sukzessive einzelne Elemente verbessert werden. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf im strukturierten Vergleich und in der Auswahl verschiedener möglicher Zielwertströme im Rahmen des WSD.

Überblick über das Software-Konzept hinter der App

Einen Überblick über die technischen Komponenten der entwickelten Wertstromsimulation vermittelt Bild 3. Die Modellierung erfolgt auf einem mobilen

Endgerät. Sobald ein Benutzermodell erstellt und mit den erforderlichen Daten versorgt ist, kann aus der App heraus eine Simulation gestartet werden.

Daraufhin wird aus dem Modell und den Daten eine xml-Datei erzeugt, die an einen Webservice übergeben werden. Der Webservice reicht die Datei an ein Schnittstellenmodul, den sogenannten SIMController weiter, der die Simulationssoftware PlantSimulation im Hintergrund startet. Die Simulationssoftware lädt die Datei, erzeugt daraus ein Simulationsmodell, führt die Simulation durch und gibt die Ergebnisse dann wiederum über eine xml-Datei auf gleichem Weg an das mobile Endgerät zurück.

Dabei laufen die Benutzeroberfläche auf dem Endgerät im Vordergrund und die Simulation im Hintergrund komplett asynchron. Das heißt, dass vom mobilen Endgerät aus mehrere Simulationen (für unterschiedliche Modellalternativen) gestartet werden können. Während diese Alternativen dann im Hintergrund bearbeitet werden, kann der Anwender mit der App weiterarbeiten. Sobald Ergebnis-

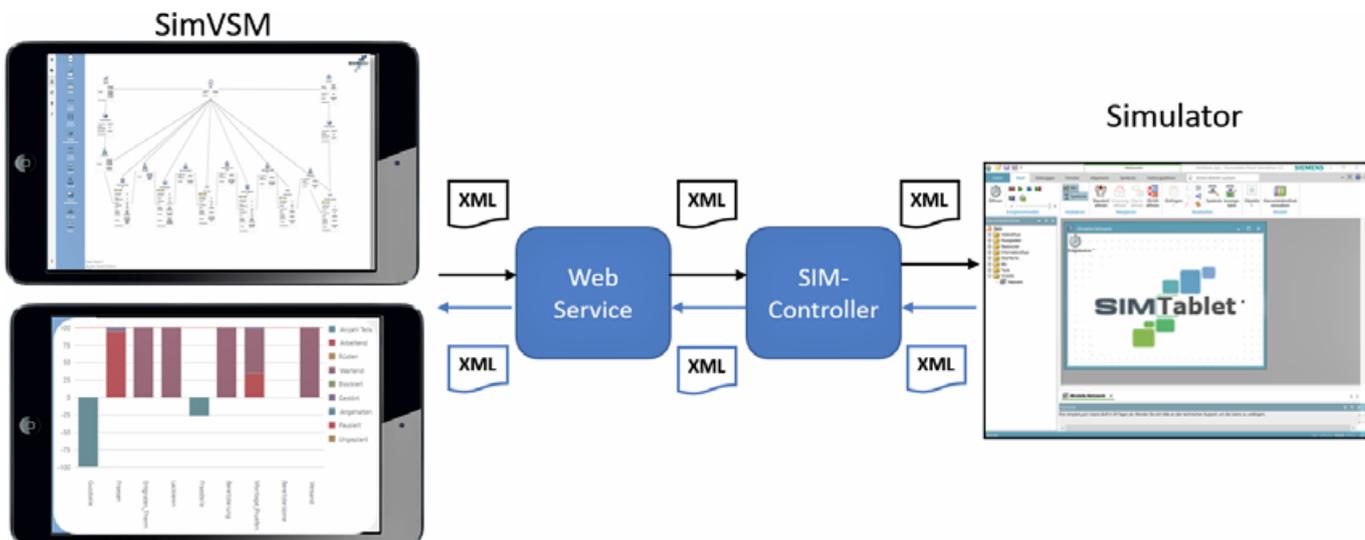


Bild 3. Darstellung eines Simulationsmodells und der Ergebnisse zur Verifizierung des modellierten Wertstroms

se vorliegen, gibt es auf dem mobilen Endgerät einen entsprechenden Hinweis.

■ Status und Ausblick

In Verbindung mit Wertstromsimulation bildet die Wertstromanalyse ein leistungsfähiges Werkzeug, um volatile und komplexe Produktionssysteme zu verbessern. In dieser Publikation wurden die Potenziale einer Wertstromsimulations-App, die eine neuartige Technologie für Produktionstechnik darstellt, aufgezeigt. Dadurch, dass diese App auch in einer Produktionshalle direkt mit den Mitarbeitern angewendet werden kann, wird die Transparenz und Akzeptanz geplanter Optimierungsprojekte verbessert. Letztlich werden auch Medienbrüche vermieden und somit die Zuverlässigkeit von Verbesserungsaktivitäten erhöht. Mit dieser neuen Technologie werden eine effektivere und effizientere Wertstromsimulation ermöglicht und Eintrittsbarrieren zur Nutzung der Simulationstechnologie minimiert.

Der Demonstrator konnte im Projekt MobiSim ausgiebig und erfolgreich durch die Anwendungspartner getestet werden. Erste Ergebnisse wurden von der SimPlan AG im Rahmen der Messe Logimat 2017 vorgestellt. Nach Projektende wurde der Demonstrator weiterentwickelt und ist jetzt in den App Stores von Apple und Microsoft verfügbar unter dem Namen „SimVSM“. Weitere Forschungsarbeiten werden sich mit Echtzeitsimulationen in Kombination mit mobilen Endgeräten beschäftigen.

Das WSD ist in seiner jetzigen Form eine statische Planungsmethode. Eine weitere Verknüpfung mit Wertstromsimulationen auf Basis von Echtzeitdaten verspricht große Potenziale, die Abbildung dynamischer Produktionssysteme zu verbessern und den Zielwertstrom exakter definieren zu können. Insbesondere durch stochastische Kundenanforderungen, Prozessschwankungen und -unsicherheiten sowie verschiedene Ausprägungen innerbetrieblicher Transportprozesse entsteht ein hoher Forschungsbedarf.

■ Literatur

- Accenture: Mobile Web Watch Survey 2012
- Al-Aomar, R.: Handling Multi-Lean Measures with Simulation and Simulated Annealing. *Journal of the Franklin Institute* 348 (2011) 7, S. 1506–1522
- Arnold, D.; Furmans, K.: *Material Flow in Logistics Systems*. 6. Aufl., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2006
- Bayer, J.; Collisi, T.; Wenzel, S. (Hrsg.): *Simulation in der Automobilindustrie*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2003
DOI: 10.1007/978-3-642-55720-0
- Caridi, M.; Cavalieri, S.: Multiagent systems in production planning and control: An overview. *Production Planning & Control* (2004)
DOI: 10.1080/09537280410001662556
- Daniluk, D.; Chisu, R.: Simulation and Emulation in the Internet of Things. In: Guenther, W.; ten Hompel, M. (Hrsg.): *Internet of Things in Intralogistics*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2010, S. 147–169
- Domschke, W.; Drexel, A.: *Introduction to Operations Research*. 7. Aufl., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2007
- Fink, A.; Kliewer, N.; Mattfeld, D.; Moench, L.; Rothlauf, F.; Schryen, G., et al.: *Model-based Decision Support in Manufacturing Service Networks*. *Business and Information Systems Engineering* (2014).
DOI: 10.1007/s12599-013-0310-4
- Grewal, C.: An Initiative to Implement Lean Manufacturing Using Value Stream Mapping in a Small Company. *Journal of Manufacturing Technology and Management* (2008) 15, S. 404–417
DOI: 10.1504/IJMTM.2008.020176
- Groeger, C.; Silcher, S.; Westkaemper, E.; Mitschang, B.: Leveraging Apps in Manufacturing: A framework for App Technology in the Enterprise. *Procedia CIRP* (2013).
DOI: 10.1016/j.procir.2013.06.050
- Haemmerle, M.; Rally, P.: *Wertschöpfung steigern: Ergebnisse der Datenerhebung über die Verbreitung und Ausgestaltung von Methoden zur Prozessoptimierung in der Produktion mit besonderem Fokus auf die Wertstrommethode*. Fraunhofer Verlag, Stuttgart 2010
- Holweg, M.: The Genealogy of Lean Production. *Journal of Operations Management* 25 (2007) 2, S. 420–437
- Marvel, J. H.; Standridge, C. R.: Simulation-enhanced Lean Design Process. *Journal of Industrial Engineering and Management* 2 (2009) 1, S. 90–113
- McDonald, T.; van Aken, E. M.; Rentes, A. F.: Utilising Simulation to Enhance Value Stream Mapping: A Manufacturing Case Application. *Journal of Logistics Research and Applications* (2002).
DOI: 10.1080/13675560210148696
- Maerz, L.; Krug, H.; Rose, O.; Weigert, G.: *Simulation and Optimization in Production and Logistics*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2011
- Negahban, A.; Smith, J. S.: *Simulation for Manufacturing System Design and Operation: Literature Review and Analysis*. *Journal of Manufacturing Systems* (2014).
DOI: 10.1016/j.jmsy.2013.12.007
- Roessler, M. P.; Metternich, J.; Abele, E.: Learning to See Clear: Quantification and Multidimensional Assessment of Value Stream Mapping Alternatives Considering Variability. *Business and Management Research* (2014).
DOI: 10.5430/bmr.v3n2p93
- Rother, M.; Shook, J.: *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. Lean Enterprise Institute, 1999
- Röbber, M. Ph.; Meudt, T.; Metternich, J.: *Mobile Value Stream Simulation – Potentials and Requirements of a New Optimization Technology*. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences* (2016)
- Siebers, P.; Macal, C. M.; Garnett, J.; Buxton, D.; Pidd, M.: Discrete-event Simulation is Dead, Long Live Agent-based Simulation. *Journal of Simulation* 4 (2010) 3, S. 204–210
- Verein Deutscher Ingenieure: *Simulation of Logistics, Material Flow and Production Systems: VDI 3633 Sheet 1*. Frankfurt a. M. 2010
- Wolff, M.: *Methode zur Wertstromoptimierung mittels simulativer Bewertung von Handlungsalternativen*. Dissertation, Technische Universität Darmstadt, 2013

■ Die Autoren dieses Beitrags

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Tobias Meudt und Joscha Kaiser, M.Sc. arbeiten als Wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) an der TU Darmstadt.

Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich ist Leiter des Instituts für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) an der TU Darmstadt und leitet die Forschungsgruppen Center für industrielle Produktivität und Management industrieller Produktion.

Dr. Sven Spieckermann ist Mitglied des Vorstands der SimPlan AG, Mitglied der ASIM-Fachgruppe „Simulation in Produktion und Logistik“ sowie des Fachausschusses 204 „Modellierung und Simulation“ im Verein Deutscher Ingenieure und Inhaber von Lehraufträgen für Simulation an den Technischen Universitäten in Braunschweig und Darmstadt sowie am KIT in Karlsruhe.

■ Summary

Value Stream Mapping and Value Stream Simulation in Times of Digitization and Industry 4.0 – An App for Manufacturing Optimization. The value stream method as well as the simulation of production processes are established procedures, which are used in numerous manufacturing companies. Typically, these are used nowadays independently of each other. The value stream method also uses in times of industry 4.0 mostly still analogous tools such as clipboards and flipcharts. This is where the Mobi-Sim research project began, which digitized the value stream analysis and design directly on the production line and linked it with time-dynamic simulation. This article presents the results / functionality of the SimVSM app.

Bibliography

DOI 10.3139/104.111846

ZWF 112 (2017) 12; page 865–868

© Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG
ISSN 0032–678X