

Optimierung von Wertströmen

Mit Lean-Methoden und Materialflusssimulation zu operativer Exzellenz

Eberhard Abele,
Manuel Wolff und
Andreas Manz, Darmstadt

Die Wertstrommethode hat sich in der Industrie als bevorzugter Weg zur Umsetzung der Prinzipien der schlanken Produktion entwickelt. Jedoch hat die Methode entscheidende Schwächen. Der Nutzen von Optimierungen kann im Voraus nicht ermittelt werden. Durch die Integration der Wertstrommethode und Simulation lässt sich diese Schwäche kompensieren. Somit sind Lean-Optimierungen im Vorhinein berechenbar. Dieser Ansatz wird im vorliegenden Beitrag anhand einer Studie bei einem Automobilzulieferer vorgestellt.

Ausgangssituation

„Unter dem Begriff Wertstrom versteht man alle Aktivitäten, um ein Produkt vom Ausgangsmaterial in die vom Kunden gewünschte Form zu bringen. Dazu zählen nicht nur die Prozesse und der Materialfluss in einer Produktion, sondern auch die Aktivitäten, mit denen Prozesse und Materialflüsse gesteuert werden“ [1]. Die Wertstrommethode entstand in der industriellen Praxis, im Kontext des Toyota Produktionssystems und hat sich als bevorzugter Weg zur Umsetzung der Prinzipien der schlanken Produktion entwickelt [2]. Sie unterscheidet sich von anderen Techniken, da sie sowohl Informationen bezüglich einzelner Produktionsprozesse, wie z.B. Zykluszeit, Rüstzeit, Verfügbarkeit und Bestand vor Prozessen, als auch den gesamten Informations- und Materialfluss eines Wertstroms betrachtet und dabei wertschöpfende und nicht-wertschöpfende Tätigkeiten einbezieht. Die Vorteile der Wertstrommethode werden in der Literatur wie folgt beschrieben [2, 3]:

- Die Wertstrommethode hilft, Verschwendung und deren Ursachen im Wertstrom zu erkennen.
- Sie zeigt Verbindungen zwischen Produktionsprozessen, Verkaufswegen und Informationsflüssen auf.

*) Danksagung

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Projekts „SimLog - Simulationsgestützte Gestaltung von Werkzeugmaschine-Intraloggistik-Systemen“, das von der Hessen Agentur unter dem Kennzeichen 255/11-01 gefördert wurde.

- Sie beinhaltet eine Symbolik zur Visualisierung von Produktionssystemen.
- Sie verknüpft Produktionsplanungs- und -steuerungsfunktionen mit Produktionsprozessen auf dem Shopfloor.
- Sie bereitet die Grundlage für die zielgerichtete Umsetzung der Prinzipien der schlanken Produktion.

Die Wertstrommethode ist in der Industrie weit verbreitet. In der Automobilindustrie hat sich die Methode als Standard für die Optimierung von Produktionsbereichen etabliert. Die Haupteffekte der Wertstrommethode sind Produktivitätssteigerungen sowie Durchlaufzeit- und Bestandsreduktionen [4].

Trotz ihres hohen Verbreitungsgrads in der Industrie beinhaltet die Methode entscheidende Schwächen:

- Bei der Wertstromanalyse handelt es sich um eine Momentaufnahme, woraus allgemeine Schlüsse über die Leistungsfähigkeit von Wertströmen abgeleitet werden [5].

- Das Wertstromdesign ist eine statische Planungsmethode. Entwickelte Soll-Zuständen werden nur mit einer erheblichen Unschärfe abgebildet. Dynamische Einflüsse wie schwankende Kundenanforderungen, stochastische Maschinenausfälle und Prozesszeiten werden vernachlässigt [6].
- Für die Bewertung entwickelter Soll-Zustände bedarf es zeitabhängiger Wertstromkennzahlen, wie z.B. Durchlaufzeit, Liefertreue und Bestand. Im Rahmen des statischen Wertstromdesigns ist die Ermittlung dieser Kenngrößen nicht möglich. Auch eine Abschätzung ist schwierig, da es keine Formel gibt, mit der sich Durchlaufzeit, Bestand oder Liefertreue für typische Wertströme bestimmen lassen [7].

Um die oben genannten Schwachstellen zu adressieren, wird von zahlreichen Autoren die Kopplung von Lean-Methoden und Simulation vorgeschlagen [5-8]. Da-

	Wertstrommethode	Simulation
Stärken	<ul style="list-style-type: none"> • Bevorzugte Methode zur Umsetzung der Methoden der schlanken Produktion [2] • Leitfaden für die Prozessoptimierung [1] • Symbolik zur Visualisierung von Produktionsprozessen [2] • In der Industrie weit verbreitet [4] 	<ul style="list-style-type: none"> • Realitätsnahe Analyse dynamischer Systeme [9] • Abbildung komplexer Abhängigkeiten [10] • Zeitspannen können analysiert werden, nicht nur Momentbetrachtung [13] • Bewertung verschiedener Szenarien [13]
Schwächen	<ul style="list-style-type: none"> • Wertstromanalyse ist lediglich eine Momentaufnahme [5] • Statische Planungsmethode, geringe Validität entwickelter Soll-Zuständen [6] • Soll-Zustände und Einsparungen können nicht bewertet werden [12] 	<ul style="list-style-type: none"> • Nur eine Bewertungsmethode, welche mit einem Optimierungsansatz verknüpft werden muss [10] • Hoher Aufwand für Datenerfassung und Modellbildung [13]

Integration von Wertstrommethode und Simulation

Bild 1. Vor- und Nachteile der Wertstrommethode und Materialflusssimulation

bei versteht man unter Simulation „das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind. Insbesondere werden die Prozesse über die Zeit entwickelt“ [9]. Als Simulationsmodelle werden Prognosemodelle für komplexe dynamische Systeme bezeichnet, deren Ursachen-Wirkungsbeziehungen nicht analytisch modelliert werden können und welche stochastischen Einflüssen unterliegen [10]. Durch Simulationsmodelle kann das Systemverhalten und der Einfluss verschiedener Systemkonfigurationen untersucht werden, ohne dass Änderungen am realen System vorgenommen werden müssen. Die Simulation selbst beinhaltet allerdings noch keine Optimierung. Simulation ermöglicht lediglich die dynamische Untersuchung des Verhaltens eines Systems und die Ermittlung zugehöriger Leistungskennzahlen. Zur Optimierung von Systemen muss die Simulation mit einem Optimierungsansatz gekoppelt werden, wenn nicht ausschließlich mittels „Trial und Error“-Prinzip Lösungen erarbeitet werden [11]. Für die Optimierung von Wertströmen eignet sich die Wertstrommethode als Optimierungsansatz. Die Simulation auf Wertstromebene wird auch als Materialflusssimulation oder Ablaufsimulation bezeichnet, womit der Fluss von Erzeugnisrohstoffen und Erzeugnissen sowie den damit verbundenen Informationsflüssen in Fertigungssystemen gemeint ist. Bild 1 veranschaulicht Vor- und Nachteile der Wertstrommethode und der Simulation.

Im Folgenden wird die Integration von Wertstrommethode und Simulation am Beispiel eines Automobilzulieferers beschrieben. Die Studie wurde im Rahmen des Forschungsprojekts „SimLog“ durchgeführt.

Wertstromanalyse – Identifizierung von Schwachstellen und Datenbasis

Zunächst wurde der Ist-Zustand bezüglich einer Produktfamilie mittels einer erweiterten Wertstromanalyse erfasst. Der betrachtete Wertstrom umfasst sechs Bearbeitungsschritte. Nach bereits durchgeführten Optimierungen mit den Methoden der schlanken Produktion erfolgen die Fertigungsschritte 2, 3 und 4 bereits im Fluss in einer U-Zelle. Bild 2

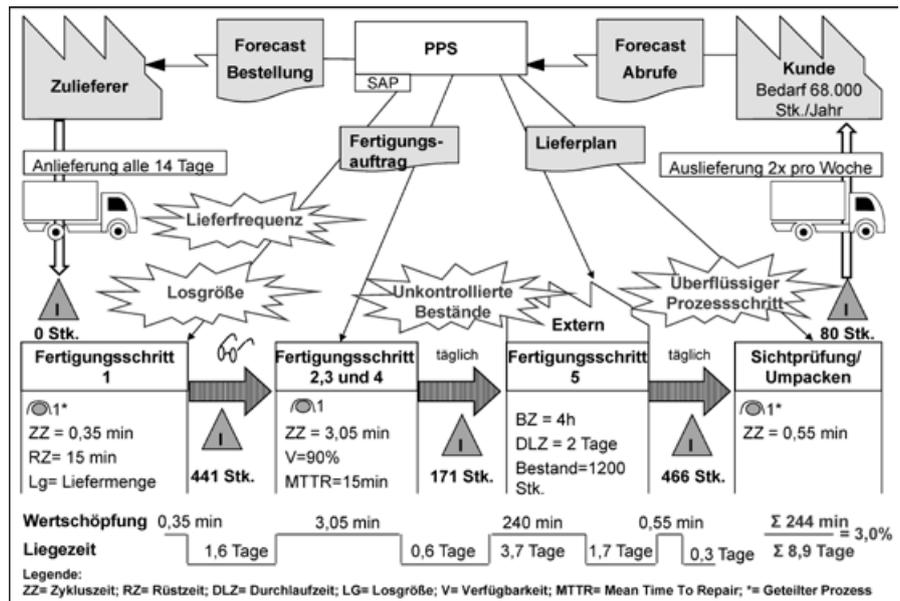


Bild 2. Wertstromdarstellung des Ist-Zustands

zeigt den Ausgangszustand des Wertstroms bei dem Automobilzulieferer.

Folgende Schwachstellen wurden in dem Wertstrom identifiziert:

- unkontrollierte Bestände,
- eine geringe Anlieferfrequenz des Rohmaterials,
- sehr hohe Losgrößen (Liefermenge) am Fertigungsschritt 1 sowie
- ein überflüssiger Prozessschritt „Umpacken“ im Anschluss an die externe Bearbeitung.

Zum Zeitpunkt der Wertstromanalyse wurden in der Momentaufnahme eine Durchlaufzeit von 8,9 Tagen und ein Wertschöpfungsanteil von 3,0 Prozent ermittelt.

Im Rahmen der erweiterten Wertstromanalyse konnten alle für die Simulation notwendigen Daten ermittelt werden. Die hierfür zusätzlich benötigten Daten umfassen beispielsweise folgende Aspekte:

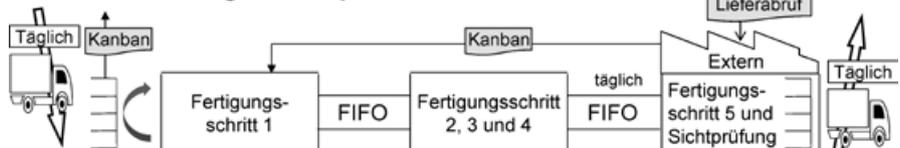
- Vorschau der Kundenabrufe,
- Wahrscheinlichkeiten von Abrufänderungen,
- Verfügbarkeit und Mean Time to Repair relevanter Prozesse sowie
- Behälter- und Puffergrößen.

Außerdem sind für eine dynamische Materialflusssimulation auch Steuerungsaspekte zu berücksichtigen, die in der Regel nicht Bestandteil einer Wertstromanalyse sind, zum Beispiel Rüststrategien oder

Szenario 1 – Sequentieller Pull



Szenario 2 – Fertigwarensupermarkt



Szenario 3 – Fremdvergabe



Bild 3. Vereinfachte Wertstromdarstellung der entwickelten Szenarien

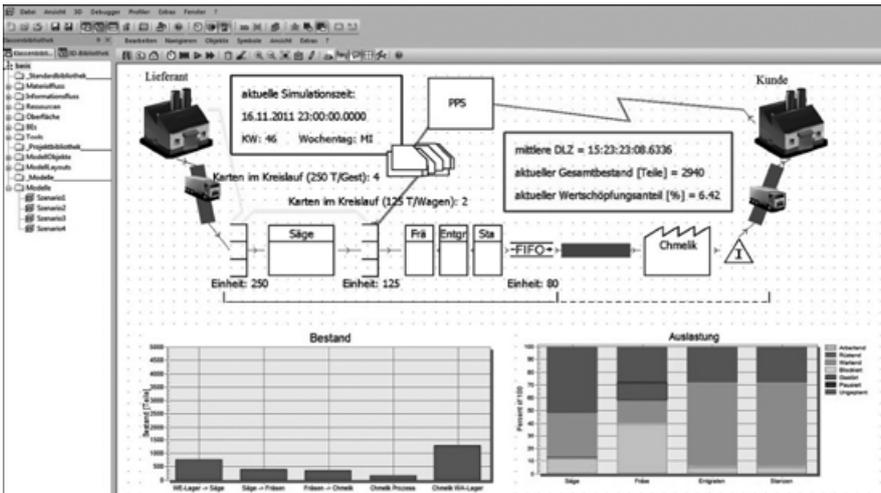


Bild 4. Simulationsmodell des Wertstromszenarios „Sequentieller Pull“

die Behandlung von Restmengen, die nicht den Behältergrößen entsprechen.

Wertstromdesign – mehrere Lösungsansätze sind zielführend

Zur Optimierung des Wertstroms wurden anschließend im Rahmen eines Wertstromdesign-Workshops mögliche Zielzustände entwickelt. Beim Wertstromdesign kommt es in der industriellen Praxis häufig zu dem Problem, dass mehrere Lösungsansätze zielführend erscheinen. Eine objektive, vergleichende Bewertung ist in der Regel nicht möglich, da keine Kenngrößen für die einzelnen Szenarien ermittelt werden können. Es wird dann zur Umsetzung

übergangen, ohne die Machbarkeit der durch den Entscheidungsträger präferierten Lösung zu prüfen und die Alternativen vergleichend zu bewerten. Häufig wird folglich nicht die bestmögliche Lösung angestrebt. Die Integration von Wertstrommethode und Simulation adressiert dieses Problem. Eine faktenbasierte Entscheidungsfindung wird ermöglicht. Vorab kann auch der Nutzen von Optimierungsmaßnahmen ermittelt werden.

Bei dem Automobilzulieferer wurden mittels eines erweiterten Wertstromdesigns drei Szenarien für die zukünftige Funktionsweise des Wertstroms entwickelt (Bild 3). Das erste Szenario ist durch einen „sequentiellen Pull“ nach Fertigungsschritt 2 gekennzeichnet.

Folgende Optimierungen wurden gegenüber dem Ist-Zustand vorgenommen:

- Lieferabrufe werden am Fertigungsschritt 2 eingesteuert.
- Dieser wird über einen Kanban-gesteuerten Supermarkt versorgt.
- Die Rohmaterialbeschaffung erfolgt mittels eines Lieferantenkanban.
- Die Anlieferfrequenz wurde unter Berücksichtigung einer Mindestbestellmenge kostenneutral erhöht.
- Am Fertigungsschritt 1 wurde nach einem SMED (Single Minute Exchange of Dies)-Workshops die Rüstzeit um 50 Prozent reduziert.
- Am ersten Fertigungsschritt wurde die Losgröße reduziert.
- Halbzeuge werden per FiFo (First-in-First-out) an die externe Bearbeitung weitergegeben.
- Die Sichtprüfung und der Versand erfolgen kostenneutral direkt nach der externen Bearbeitung. Der Rücktransport der Teile und das Umpacken entfallen.

Das zweite entwickelte Szenario ist durch einen „Fertigwarensupermarkt“ gekennzeichnet. Aus diesem werden die Kundenabrufe entnommen. Die Nachproduktion erfolgt über Kanban. Der Fertigwarensupermarkt soll die Lieferfähigkeit gegenüber Szenario 1 erhöhen. Des Weiteren wurden die Verbesserungen aus Szenario 1 übernommen.

Das dritte entwickelte Szenario ist durch eine „Fremdvergabe“ des Prozess-

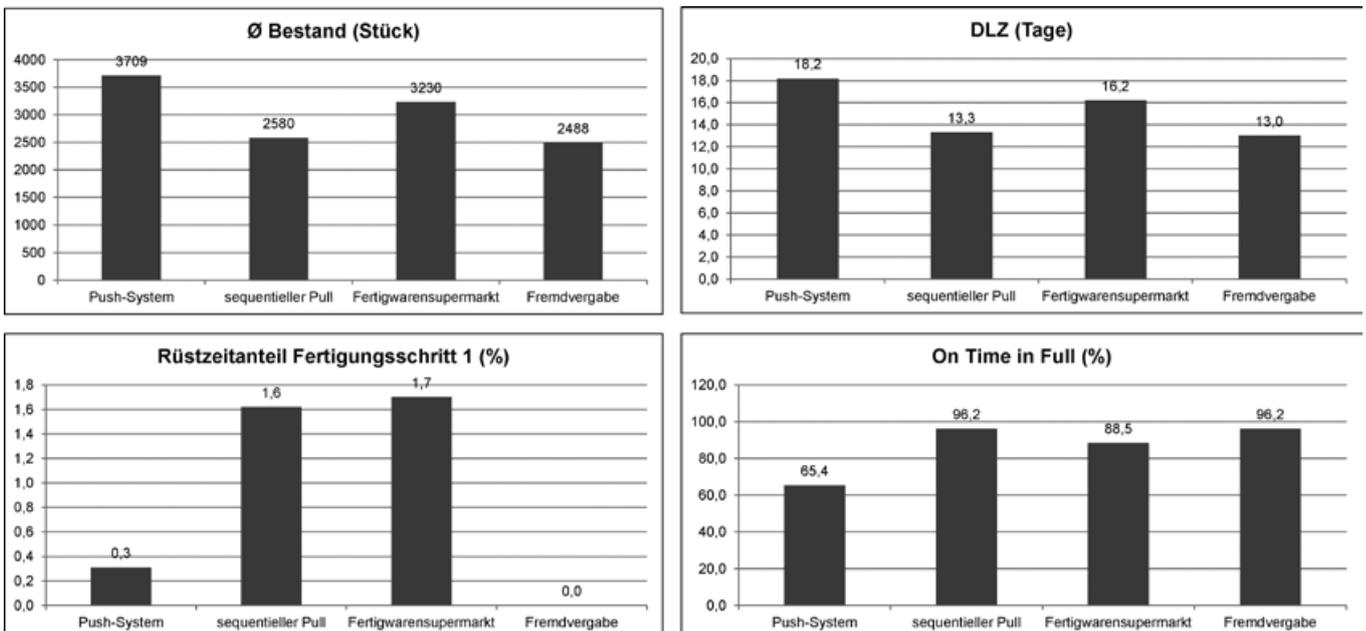


Bild 5. Ergebnisse der Simulation

Tabelle 1. Kostenbewertung der Szenarien

Kostenbewertung der Szenarios in Bezug auf den Ist-Zustand			
	Sequentieller Pull	Fertigwarensupermarkt	Externes Sägen
Lohnkosten			
Rüstaufwand (h/Jahr)	78,60	83,40	-18,60
Prüfaufwand (h/Jahr)	-265,60	-265,60	-265,60
Aufwand Fertigungsschritt 1 (h/Jahr)	0,00	0,00	-371,84
Kostensatz Mitarbeiter (€/h)	33,00	33,00	33,00
Zwischensumme (€/Jahr)	-6171,00	-6012,60	-21649,32
Bestands- und Lagerkosten			
Bestand (Stück)	-1129,00	-479,00	-1221,00
Kostensatz Rohmaterial (€/Stück)	7,00	7,00	7,00
Gebundenes Kapital [€]	-7903,00	-3353,00	-8547,00
Lagerhaltungskostensatz* [%]	24,00	24,00	24,00
Lagerhaltungskosten (€)	-1896,72	-804,72	-2051,28
Zwischensumme (€/Jahr)	-1896,72	-804,72	-2051,28
Sonstige Kosten			
Fremdvergabe(€/Stück)	0,00	0,00	0,80
Fremdvergabe (€/Jahr)	0,00	0,00	50995,20
Zwischensumme (€/Jahr)	0,00	0,00	50995,20
Summe Differenz (€/Jahr)	-8067,72	-6817,32	27294,60
Differenz Stückkosten (€/Stück)	-0,13	-0,11	0,43

*Typischer Kostensatz 19 - 28%, vgl. Hering, E.; Draeger, W. (1999): Handbuch Betriebswirtschaft für Ingenieure, Springer Verlag, Berlin

schritts 1 gekennzeichnet, da dieser eine geringe Wertschöpfung aufweist. Des Weiteren wurden die Verbesserungen aus Szenario 1 übernommen.

Simulation – Auswahl des besten Szenarios und Parameteroptimierung

Anhand der ausgeführten Szenarien wird deutlich, dass es ausschließlich mit der Wertstrommethode nicht möglich ist, abschließend zu beurteilen, welches Szenario anzustreben ist. Zur Ermittlung aussagekräftiger Kennzahlen bezüglich der Szenarien wurden diese daher mit dem Simulationsprogramm „Plant Simulation“ modelliert. Neben den möglichen zukünftigen Wertstromkonfigurationen wurde auch der Ist-Zustand des Wertstroms modelliert.

Bild 4 zeigt beispielhaft die Benutzeroberfläche des erstellten Simulationsmodells für das Szenario „sequentieller Pull“. Neben einer dynamischen Visualisierung des Wertstroms sind in der Benutzeroberfläche dynamische Ergebniskennzahlen dargestellt. Dies sind beispielsweise der aktuelle Bestand in den einzelnen Puffern, der kumulierte Gesamtbestand und die Auslastung der einzelnen Maschinen.

Für jedes der Szenarien wurde in Simulationsläufen zunächst eine manuelle Optimierung bezüglich der Parameter „Anzahl der Kanbankarten“ in den entsprechenden Kreisläufen durchgeführt. Anschließend wurden die Wertströme auf Basis der prognostizierten Kundenabrufe für einen Zeitraum von einem Jahr

simuliert. In Bild 5 sind die Simulationsergebnisse für alle Szenarien vergleichend gegenübergestellt. Zunächst fällt auf, dass das Simulationsergebnis des „Ist-Zustands“ bezüglich mittlerer Durchlaufzeit und mittlerem Bestand deutlich von dem Ergebnis der Momentaufnahme zum Zeitpunkt der Wertstromanalyse (vgl. Bild 2) abweicht. So liegt die mittlere Durchlaufzeit der Simulation von 18,2 Tagen um ca. 104 Prozent höher, als der in der Wertstromanalyse ermittelte Wert von 8,9 Tagen. Nach Validierung der Simulationsergebnisse bei dem Automobilzulieferer zeigte sich, dass die Wertstromanalyse zu einem Zeitpunkt durchgeführt wurde, zu dem die Lagerbestände gerade sehr gering waren. Dieser Systemzustand tritt in der Simulation zwar auch auf, ist jedoch nicht repräsentativ für das durchschnittliche Systemverhalten. Ohne die durchgeführte Simulation hätte sich hieraus die falsche Schlussfolgerung ableiten lassen können, dass kein Handlungsbedarf besteht, da Bestand und Durchlaufzeit schon vergleichsweise gering sind.

Die Simulation zeigt des Weiteren, dass durch eine Optimierung des Wertstroms erhebliches Potenzial besteht. Es sind Bestandsreduktionen von 33 Prozent, Durchlaufzeitreduktionen von 29 Prozent und eine Erhöhung der Lieferfähigkeit um 31 Prozent gegenüber dem Ausgangszustand möglich. Die Szenarien „Fremdvergabe“ und „sequentieller Pull“ bieten dabei das größte Potenzial. Eine Erhöhung des Rüstanteils an Fertigungsschritt 1 muss dabei jedoch in Kauf genommen werden.

Zur Abschätzung des Kostenpotenzials wurde des Weiteren eine Kostenbewertung der Szenarien durchgeführt. Hierbei wurden für jedes Szenario die Differenzen von Personal, Lagerhaltungskosten und weiteren Kosten bezogen auf den Ist-Zustand ermittelt (vgl. Tabelle 1).

Es zeigt sich, dass unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit als auch unter Berücksichtigung von Bestand, Durchlaufzeit und Liefertreue das Szenario „sequentieller Pull“ die beste Lösung darstellt. Das vom Entscheidungsträger des Automobilzulieferers ursprünglich favorisierte Szenario 3 „Fremdvergabe“ erweist sich bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit dagegen nicht als vorteilhaft.

Zusammenfassung

Die Wertstrommethode ist in der Industrie weit verbreitet und viele Unternehmen haben mit der Methode signifikante Verbesserungen erreicht. Jedoch hat die Methode entscheidende Schwächen. In der in diesem Beitrag vorgestellten Studie bei einem Automobilzulieferer wird gezeigt, dass die im Rahmen der Wertstromanalyse ermittelte Durchlaufzeit eines Wertstroms abweichen kann. Des Weiteren wird der Nutzen von Lean-Optimierungsalternativen für verschiedene Zielzustände ermittelt. Hierdurch wird eine objektive Auswahl des anzustrebenden Zielzustands ermöglicht. Durch eine Kopplung von Wertstrommethode und Materialflusssimulation können folglich effizientere Wertströme gestaltet werden. Um eine nahtlose Integration der Simulation zu gewährleisten, sind jedoch methodische Erweiterungen notwendig. Diese werden im Rahmen von weiteren Forschungsarbeiten in der Prozesslernfabrik CiP [14] erarbeitet.

Literatur

1. Klevers, T.: Wertstrom-Mapping und Wertstrom-Design. FinanzBuch-Verlag, München 2007
2. Grewal, C.: An Initiative to Implement Lean Manufacturing Using Value Stream Mapping in a Small Company. International Journal Manufacturing Technology and Management 15 (2008), S. 404–417
3. Rother, M.; Shook, J.: Learning to See – Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda. Lean Enterprise Institute Inc., Cambridge 1999
4. Hämmerle, M.; Rally, P.: Wertschöpfung steigern. Fraunhofer IAO, Fraunhofer Verlag, Stuttgart 2008

5. Drees, J.; Sack, C.: Produktionsoptimierung durch Kennzahlen der Wertstrom-Modellierung. ZWF 106 (2011) 6, S. 466-470
6. Börkircher, M.; Gamber, T.: Simulationsunterstütztes Wertstromdesign: Ansatz zur Steigerung des Wertschöpfungspotenzials in der Baustoffindustrie, Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal. KIT Scientific Publishing, 2010, S. 405-412
7. Al-Aomar, R.: Handling Multi-lean Measures with Simulation and Simulated Annealing. Journal of the Franklin Institute, 2010 (In Press, Corrected Proof)
8. Lanza, G.; Jondral, A.; Peter, K.; Toewe, H.: Reorganisation von Produktionssystemen in kleinen und mittelständischen Unternehmen mit Hilfe simulationsbasierter Prozessmuster für Lean Methoden. wt Werkstattstechnik online 100 (2010) 3, S. 125-130
9. VDI-Richtlinie 3633 - Blatt 1: Simulation von Logistik-, Materialfluss und Produktionssystemen. Verband Deutscher Ingenieure, 2010
10. Domschke, W.; Scholl, A.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre - Eine Einführung aus entscheidungsorientierter Sicht. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2005
11. März, L.; Krug, W.; Rose, O.; Weigert, G. (Hrsg.): Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2011
12. Marvel, J. H.; Standridge, C. R.: Simulation-enhanced Lean Design Process. Journal of Industrial Engineering and Management 2 (2009) 1, S. 90-113
13. Solding, P.; Gullander, P.: Concepts For Simulation Based Value Stream Mapping. In: Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference, 2009, S. 2231-2237
14. Abele, E.; Eichhorn, N.; Wolff, M.: Prozesslernfabriken qualifizieren Mitarbeiter. VDI-Z 152 (2010) 4, S. 67-69

■ **Die Autoren dieses Beitrags**

Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele, geb. 1953, studierte Maschinenbau an der TU Stuttgart und promovierte am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart. Während seiner 14-jährigen Industrietätigkeit sammelte er internationale Erfahrung als Leiter Fertigungstechnologie und Werkleiter in der Automobilzulieferindustrie. 1999 wurde er an das Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) an der TU Darmstadt berufen.

Dipl.-Ing. Manuel Wolff, geb. 1981, studierte Maschinenbau an der TU Darmstadt. Seit 2008 ist er am Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) an der TU Darmstadt als Wissenschaftlicher

Mitarbeiter in der Forschungsgruppe Produktion & Management tätig.

Dipl.-Systemwiss. Andreas Manz, geb. 1975, studierte angewandte Systemwissenschaft an der Universität Osnabrück. Seit 2006 ist er als Berater beim Simulationsdienstleister SimPlan AG tätig. Dort bearbeitet er Simulationsprojekte im Produktions- und Logistikbereich und gibt Schulungen zu aktueller Simulationssoftware.

■ **Summary**

Optimization of Value Streams - With Lean Methods and Material Flow Simulation to Operational Excellence. Value stream mapping has emerged as a preferred way to implement the lean approach. Nevertheless the method has crucial deficiencies. Through the integration of value stream mapping and simulation those deficiencies can be compensated. Hence the benefits of Lean-optimizations can be evaluated before physical implementation. The approach is described using the example of an automotive supplier.

Den Beitrag als PDF finden Sie unter:
www.zwf-online.de
 Dokumentennummer: ZW 110727