

*Integrationsaspekte der Simulation:
Technik, Organisation und Personal*
Gert Zülch & Patricia Stock (Hrsg.)
Karlsruhe, KIT Scientific Publishing 2010

Simulationsunterstütztes Wertstromdesign: Ansatz zur Steigerung des Wertschöpfungs- potenzials in der Baustoffindustrie

***Simulation-based Value Stream Mapping: An Approach to Increase
Added Value in a Company of the Construction Materials Industry***

Mikko Börkircher
ehemaliger wissenschaftlicher Mitarbeiter am
Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation (ifab),
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe (Germany)
mikko@boerkircher.de

Thilo Gamber
Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation (ifab),
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe (Germany)
thilo.gamber@kit.edu

Abstract: The production of high quality, customer-oriented but equally competitive products should encourage the manufacturers of construction materials to ensure that the non value-adding activities are continuously reduced within production. Against this background, an approach was developed, based on a combination of static value stream mapping and dynamic simulation. By means of a pilot study from a company of the construction materials industry, the developed approach is presented.

1 Wertstromanalyse und -design als statische Verfahren

Kundenindividuelle Produkte in hoher Qualität ohne lange Lieferzeiten und zu günstigen Preisen anzubieten ist die Herausforderung, die der Markt heutzutage an die Wettbewerbsfähigkeit von Baustoffunternehmen stellt. Ein wesentliches Ziel in der Baustoffindustrie ist es deshalb, ressourcenschonend zu arbeiten und kontinuierlich zu überprüfen, ob die jeweiligen Prozesse zur Wertschöpfung beitragen. Um dies zu erreichen, muss der gesamte Wertstrom bei einem Produkt – und zwar vom Rohmaterial bis zum Kunden – im Detail analysiert und möglichst günstig organisiert werden. Dabei kann die Methode der Wertstromanalyse zum Einsatz kommen. Sie wurde vom japanischen Autohersteller Toyota entwickelt und ist ein zentraler

Bestandteil des so genannten Toyota-Produktionssystems (vgl. z.B. BRUNNER 2008, S. 9 f.).

Die Wertstromanalyse ist eine geeignete Methode, um den Ist-Zustand einer Produktion übersichtlich und umfassend darzustellen. Im Zuge der Anwendung dieser Methode werden sukzessive Material- und Informationsflüsse dokumentiert. Der Materialfluss ist der Durchlauf eines Bauteils oder fertigen Produktes; der Informationsfluss bildet die Steuerung und Regulierung des Wertstroms ab. Einfache, in der Literatur standardisierte Symbole stellen produktionsrelevante Sachverhalte graphisch dar (vgl. ROTHER, SHOOK 2006, S. 28 f.). Damit kann eine schnelle Visualisierung des gesamten Wertstroms vom Lieferanten bis hin zum Kunden erreicht sowie ein Verständnis der aktuellen Funktionsweise eines Produktionssystems erleichtert werden. Bei der Aufnahme des Ist-Zustandes ist das Sammeln von Prozesskennzahlen, z.B. zu Taktzeiten, das Identifizieren von Beständen sowie die Erfassung der Durchlaufzeiten für die beobachteten Prozesse notwendig.

An die Wertstromanalyse schließt sich das Wertstromdesign an. Ausgehend vom Ist-Zustand ist dabei der Soll-Zustand eines Wertstroms, möglichst frei von Verschwendungen, in der Regel betriebspezifisch zu konzipieren. Hierzu können allgemein gültige Leitlinien herangezogen werden. Diese Leitlinien beruhen auf einer Reihe von bewährten Prinzipien und Regeln, wie z.B. die Einführung einer kontinuierlichen Fließfertigung. Dabei steht die Effizienz und Kundenorientierung im Vordergrund, wenn es um die Ableitung von Verbesserungspotenzialen geht.

Vor diesem Hintergrund wurde ein Ansatz entwickelt, der auf einer Verbindung von statischem Wertstromdesign und dynamischer Simulation basiert. Anhand einer Pilotstudie aus einem Unternehmen der Baustoffindustrie wird der entwickelte Ansatz vorgestellt. Der Beitrag erläutert dazu das Wertstromdesign, seine Implementierung in einem Simulationsverfahren und die Ergebnisse der Pilotstudie.

2 Verknüpfung von Wertstromdesign mit dynamischer Simulation

Beim Wertstromdesign handelt es sich um eine statische Planungsmethode, die in ihrer Aussagefähigkeit hinsichtlich verbesserter Soll-Zustände bei der Berücksichtigung von komplexen und dynamischen Rahmenbedingungen, wie im Falle stochastischer Prozesszeiten oder Störungen, schnell an ihre Grenzen stößt. Die statische Modellierung eines zukünftig verbesserten Soll-Zustandes kann lediglich als Hinweis dienen, wie später der Produktionsprozess aussehen könnte; die tatsächliche Machbarkeit dieses Prozesses bzw. seine Überprüfung im Sinne seiner Dynamik findet im Rahmen des Wertstromdesigns nicht statt. Ablaufalternativen oder variierende Produktionsprogramme lassen sich daher mit Hilfe des Wertstromdesigns allein nicht miteinander vergleichen. Ebenso wenig ist es möglich, die Komplexitätszunahme einer Produktion, z.B. aufgrund aufkommender kundenbedingter Forderungen, beispielsweise nach mehr Produktvarianten, hinsichtlich produktionslogistischer und monetärer Zielkriterien zu bewerten.

In der Entwicklung eines simulationsbasierten Verfahrens wird ein geeigneter Ansatz gesehen, um die Planung von Prozessen und Abläufen in Unternehmen besser zu unterstützen und ihre dynamische Leistungsfähigkeit zu analysieren. Dazu

ist das statische Wertstromdesign mit einem Simulationsverfahren zu kombinieren. Diese Art der Kombination ist nicht neu. Bereits in dem Beitrag "Digitales Wertstromdesign" von BRÜGGEMANN und MÜLLER (2008, S. 578 f.) werden im Rahmen einer Marktanalyse kommerzielle Simulationstools hinsichtlich ihrer Eignung zur Abbildung digitaler Wertströme anhand unterschiedlicher Kategorien untersucht. Darauf aufbauend erstellen die Autoren ein spezifisches Modul zur Integration des Wertstromdesigns in ein kommerzielles Softwaretool. Zusätzlich dazu werden "Optimierungskomponenten" entwickelt, mit denen der Anwender Produktionsabläufe in der Automobilindustrie verbessern kann. Ein solches Modul kann dann in Verbindung mit Werkzeugen der Digitalen Fabrik genutzt werden. Die Autoren beschreiben dann anhand von Menüoberflächen sowie Bildschirmabzügen, wie das herkömmliche Wertstromdesign Eingang in ein Softwaretool gefunden hat. Simulationsstudien werden jedoch nicht weiter behandelt und somit werden auch keine Simulationsergebnisse vorgestellt.

Diesbezüglich geht der Beitrag von HÜTTER (2008, S. 73 f.) einen Schritt weiter: Der Autor zeigt mittels des Einsatzes der Simulation auf, dass sich durch eine Nivellierung der Produktion – im Sinne der Umstellung von einer Push- zu einer Pull-Steuerung – sowohl Losgrößen reduzieren als auch Durchlaufzeiten verringern lassen. Dies führt dann zwangsläufig zu einer Abschwächung von unternehmensübergreifenden Peitschenschlag-Effekten in der Automobil-Zuliefererindustrie, die Hütter als Untersuchungsschwerpunkt heranzieht. Es geht aus dem Beitrag jedoch nicht hervor, ob ein kommerzielles oder eigens entwickeltes Simulationsverfahren eingesetzt wird.

Im Gegensatz zu diesen beiden Quellen, baut das hier zugrunde gelegte Simulationsverfahren *OSim-BAU* (Objekt-Simulator für die *Bau*produktion) auf dem nicht kommerziellen, von JONSSON (2000, S. 181 ff.) entwickelten Simulationsverfahren *OSim* (Objekt-Simulator) auf. Dieser Simulator wird am Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation (ifab) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT, vormals Universität Karlsruhe) sukzessive in zahlreichen Forschungsarbeiten weiterentwickelt. Das Verfahren basiert auf einem generischen Objektmodell, das zur durchlaufplanorientierten Simulation von Produktions- und Dienstleistungsprozessen dient. Die Benutzungsoberfläche von *OSim-BAU* ist für die Modellierung des Wertstroms von Produktionsprozessen besonders geeignet, da dies mit Hilfe netzgraphenartiger Durchlaufpläne erfolgt und die Planung in der Bau- sowie Baustoffindustrie vielfach bereits auf Basis der Netzplantechnik geschieht.

Die dynamische Betrachtung eines Wertstroms wird in *OSim-BAU* zusätzlich noch mittels einer Berücksichtigung von Ablaufstörungen erweitert. Mit Hilfe der Simulation ist es damit möglich, im Vorhinein mehrere Ablaufalternativen bzw. alternative Wertströme unter Berücksichtigung zufällig auftretender Störungen als "What-if-Analysen" zu bewerten; dies ist in der ursprünglichen Form des Wertstromdesigns nicht vorgesehen bzw. nicht möglich.

Ablaufalternativen lassen sich aus einem Ausgangsmodell z.B. durch das Vermeiden von Prozessschritten ableiten: Überflüssige oder redundante Schritte, die nicht zum Prozessziel beitragen, können weggelassen werden und tragen damit zur Konzentration auf die Wertschöpfung bei. Weiterhin ist es möglich, Prozessschritte zu parallelisieren bzw. simultan durchzuführen: Statt sequenziellen Schritten ist zu prüfen, ob sie parallel bearbeitet werden und damit zu einer Zeitersparnis und Har-

monisierung des Prozesses beitragen können. Ein Katalog zu möglichen Ablaufverbesserungen sowie zur Modellierung von Ablaufalternativen kann BÖRKIRCHER und ZÜLCH (2009, S. 226 f.) entnommen werden. Abbildung 1 zeigt das Prinzip des simulationsunterstützten Wertstromdesigns, wobei anstelle der herkömmlich verwendeten Symbolik des Wertstromdesigns die Benutzungsoberfläche von *OSim* dargestellt ist.

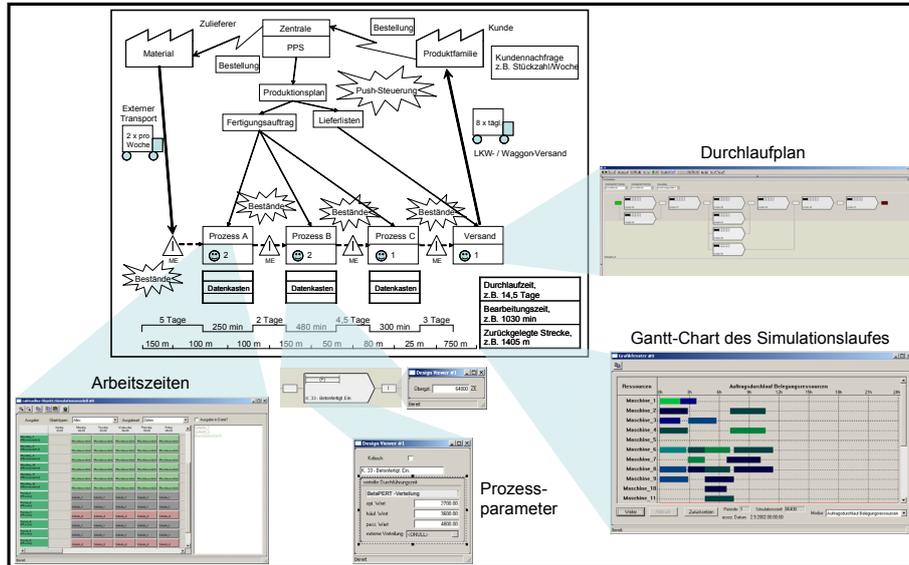


Abbildung 1: Elemente des simulationsunterstützten Wertstromdesigns

3 Methodische Vorgehensweise anhand eines Fallbeispiels aus der Baustoffindustrie

Die Anwendung des Simulationsverfahrens *OSim-BAU* wird im Folgenden an einer Pilotstudie aus der Baustoffindustrie dargestellt. Dem Fallbeispiel liegt die Aufgabe einer Neugestaltung von Prozessen im Bereich der Verladung von Endprodukten zugrunde; es handelt sich um eine rein kommerzielle Simulationsstudie.

Im Rahmen der Pilotstudie findet zunächst eine Modellvalidierung statt. Dazu wird der Ist-Zustand modelliert und dessen Simulationsergebnisse mit real ermittelten Kennzahlen verglichen. Im Anschluss an diese simulative Analyse erfolgt die Modellierung des Soll-Zustandes in einem Rechnermodell. Das statische Wertstromdesign wird sozusagen über die Komponenten der Modellierung und anschließenden Simulation in eine dynamische Analyse- und Designphase überführt. Die Lösungsentwicklung erfolgte im Team mit den betroffenen Abteilungen Produktion, Vertrieb/Versand, Qualitätslabor und Instandhaltung.

3.1 Aufnahme des Ist-Zustandes mit Hilfe der Wertstromanalyse

Die Nivellierung einer Produktion sollte an einem bestimmten Prozess des Wertstroms starten, dem so genannten Schrittmacherprozess (vgl. ROTHER, SHOOK 2006, S. 53 f.). Dies ist im betrachteten Fallbeispiel der Takt definierende Prozess, nämlich die Verladung von Endprodukten, die durch Kundenaufträge gesteuert wird. Die Handhabung von Waggons zur Verladung von Endprodukten ist zwar auf den ersten Blick nur ein unterstützender Prozess und kein Kernprozess. Eine mangelhafte Versorgung mit Waggons wirkt sich jedoch bei näherer Betrachtung unmittelbar auf den Kernprozess Produktion aus und führt im Extremfall zu längeren Produktionsausfällen und zur Nichteinhaltung von Lieferterminen.

Überall dort, wo Waggons bei der Verladung verwendet werden, lassen sich durch ein gezieltes "Waggonmanagement" hohe Einspar- und Erfolgspotenziale ausschöpfen. Nachfolgend werden im Rahmen der durchgeführten Ist-Analyse einige derjenigen Defizite aufgeführt, die eine nivellierte Verladung behindern können:

- Die oft zu geringe Anzahl bzw. Vorhaltung von Waggons hat eine Zunahme der ohnehin begrenzten Silo- und Bunkerbestände zur Folge mit der weiteren Konsequenz, dass die Produktionsmenge gedrosselt oder sogar einzelne Produktionsanlagen kurzfristig stillgelegt werden müssen. Aufgrund der allgemein zunehmenden Belastung aller Betriebe durch steigende Energiepreise ist es besonders wichtig, einen möglichst kontinuierlichen Anlagenbetrieb anzustreben, um durch eine hohe Produktmenge die spezifischen, auf die Tonne eines Endprodukts bezogenen Energiekosten zu senken. Das erneute Anfahren einer Anlage, u.a. unter Einsatz von Erdgas, stellt hierbei einen erheblichen Kostenfaktor dar. Weiterhin sind Ersatzlieferungen mittels Lastkraftwagen erforderlich, falls der für einen bestimmten Kunden erforderliche Waggontyp nicht rechtzeitig zur Verfügung steht.
- Nach der Befüllung werden den Waggons zusätzlich Proben der geladenen Produkte entnommen und den Kundenanforderungen entsprechend analysiert. Bei einer Überschreitung der vereinbarten Grenzwerte hat das zur Folge, dass die Waggons entleert und wieder befüllt werden müssen. Dies führt zwangsläufig zu weiteren Lieferverzögerungen.
- Stillstandszeiten innerhalb der Verladung sowie Produktionsausfälle kommen nicht nur wegen fehlender Waggons zustande, sie entstehen auch durch ungeplante Instandhaltungsarbeiten an kritischen Anlagenteilen. Aufgrund von Störungen und damit zwangsläufigen Unterbrechungen der Verladung durch Instandhaltungsmaßnahmen können bei dem vorgesehenen 3-Schicht-Betrieb sehr oft nur zwei bis zweieinhalb Schichten effektiv zur Verladung genutzt werden.

Die durchgeführte Ist-Analyse im Rahmen der Wertstromanalyse diente dazu, die bestehenden Prozesse im Bereich der Verladung zu verstehen. Als Ergebnis lässt sich für das Fallbeispiel Folgendes festhalten: Die Ist-Situation ist gekennzeichnet durch Intransparenz hinsichtlich des Bestandes an unterschiedlichen Waggontypen, eine niedrige Verladeflexibilität, eine ungenügende Qualitätssteuerung durch die derzeit praktizierte Probennahme, hohe Kosten für die Bereitstellung von Zusatz-

transporten sowie Fehler und Störungen, die während der Verladung auftreten und sich auch auf die vorgelagerten Produktionsprozesse auswirken. Die Ist-Situation erfordert als Resümee damit eine Neugestaltung des Schrittmacherprozesses Waggonmanagement.

3.2 Verbesserter Soll-Zustand durch Wertstromdesign

In Baustoffbetrieben gibt es im Allgemeinen – aufgrund unterschiedlicher Anwendungsfelder bzw. Kundenspezifikationen der Endprodukte – eine variantenreiche Massenproduktion. Bei der Betrachtung eines Schrittmacherprozesses können dynamische Effekte von konkurrierenden Wertströmen auftreten, die sich dieselben Ressourcen (z.B. Verladebänder, Förderbänder oder -schnecken) teilen müssen. Ziel des Wertstromdesigns im konkreten Fallbeispiel ist es daher, die Material- und Informationsflüsse so zu gestalten, dass alle überflüssigen Bestände eliminiert und damit ein Produktionsspektrum mit unterschiedlichen Verladezeiten (abhängig von der Waggongröße, der zu verladenden Qualität usw.) in einen gleichmäßigen Fluss gelenkt wird.

Für eine erfolgreiche Umsetzung des Wertstromdesigns ist dort anzusetzen, wo die größte Wirkung erwartet wird. Nach diesem Kriterium wurde im Fallbeispiel die Produktfamilie "Mineralgemisch" ausgewählt, für die ein Soll-Zustand aufgrund der identifizierten Defizite sowie gemäß den Regeln einer schlanken Produktion ausgearbeitet werden sollte. Dazu ermöglichen bewährte Gestaltungsrichtlinien (vgl. ROTHER, SHOOK 2006, S. 51 ff.) die Erstellung eines verbesserten Soll-Konzeptes. Folgende Gestaltungsoptionen für den Schrittmacherprozess wurden im Team herausgearbeitet, von denen in der anschließenden Simulationsstudie mehrere Einzelmaßnahmen sowie Kombinationen davon untersucht wurden:

- Standardisierung der Waggontypen (Option A)
- Zielgerichtete Ansteuerung der Verladebunker und -silos nach Produktqualitäten (Option B)
- Zustandsbezogene Instandhaltungsarbeiten an festgelegten Terminen (Option C)
- Parallelisierung der Waggonverladung (Option D)
- Auslagerung der nicht zu erbringenden Verlade- bzw. Versandmengen an Tochtergesellschaften oder Mitbewerber; Aushilfslieferungen (Option E)

Die Gestaltungsoptionen A und B wurden im Simulationsverfahren modelltechnisch als Ablaufalternativen umgesetzt. Der Option C konnte in *OSim-BAU* dadurch in adäquater Weise Rechnung getragen werden, dass ein Modellgenerator eingesetzt wurde, mit dem einzelne Störungen unter Verwendung der Modellparameter Zwischenankunftszeit und Störungsdauer erzeugt und für einen betrachteten Simulationslauf zu einem Störungsszenario zusammenstellt werden können. Dementsprechend konnten ungeplante bzw. geplante zustandsbezogene Instandhaltungsarbeiten mit zufallsbedingten bzw. fixen Zwischenankunftszeiten sowie Störungsdauern modelliert und anschließend simuliert werden.

3.3 Systematische Simulationsexperimente

Tabelle 1 zeigt die Simulationsergebnisse der untersuchten Gestaltungsoptionen im Vergleich zur Ausgangssituation. Hierbei wurden die drei produktionslogistischen Zielerreichungsgrade (vgl. zum Begriff z.B. WEDEMEYER 1989, S. 69 ff.; JONSSON 2000, S. 246 ff.) Durchlaufzeitgrad und Termintreue der Aufträge sowie Nutzungsgrad der Betriebsmittel als Bewertungskriterien herangezogen. Bei den Veränderungen der Zielerreichungsgrade im Vergleich zur Ausgangssituation wurde in Verbesserungen bzw. Verschlechterungen unterschieden.

Gestaltungsoptionen	Auswirkung auf den Zielerreichungsgrad		
	Durchlaufzeit	Nutzungsgrad	Termintreue
A	++	+	++
B	+	-	+
C	-	+	+
A + B	+	-	+
A + C	-	+	+
B + C	+	-	++
A + B + C	-	+	+

Legende: + Verbesserung (0 bis 5 %) ++ Verbesserung (ab 5 %)
 - Verschlechterung (0 bis 5 %) -- Verschlechterung (ab 5 %)

Tabelle 1: Simulationsergebnisse in Bezug auf den Schrittmacherprozess

Durch die Gestaltungsoption A konnten alle Zielerreichungsgrade zumindest leicht verbessert werden. Allerdings wird diese Alternative – was sich erst nach Durchführung der Simulationsexperimente herausstellte – nicht von allen Kunden des Baustoffbetriebs als günstig angesehen. Grund hierfür ist, dass sich die Waggontypen aus Kompatibilitätsgründen nicht bei jedem Kunden standardisieren lassen. Damit scheidet auf den ersten Blick auch die Gestaltungsoptionen aus, die mit Option A kombiniert sind. Ihre einzelnen positiven Ergebnisse lassen jedoch Spielraum für bevorstehende Vertragsverhandlungen. Hingegen stellt Option B eine anhand der ermittelten Zielerreichungsgrade lohnende Gestaltungsoption dar. Die Steuerung nach Produktqualitäten ließe sich relativ leicht und kostengünstig verwirklichen; ein entsprechendes Umsetzungsprojekt könnte unter Bezugnahme auf die durchgeführte Simulationsstudie in die nächste Budgetrunde aufgenommen werden. Bei der Gestaltungsoption C wurde hauptsächlich auf den Vorarbeiten von ZÜLCH und BÖRKIRCHER (2008, S. 607 f.) aufgebaut. Hierbei findet ein bewährtes Konzept der Störungsbetrachtung im Bauwesen Anwendung. Die Kombination von Option B mit C zeigt deutliche Verbesserungen gegenüber der Ausgangssituation auf. Die Gestaltungsoptionen D bzw. E, dem Bau einer zweiten Gleisverladung bzw. der Verlagerung der Verladung zu anderen Unternehmensstandorten, wurden von der Geschäftsführung abgelehnt, so dass diese nicht in die Simulationsstudie aufgenommen wurden.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Im Mittelpunkt dieses Beitrages stand die Entwicklung eines Verfahrens, das zur Modellierung und Simulation von Wertströmen eingesetzt werden kann. Die Simulation von Produktionsszenarien ermöglicht dem Benutzer eines simulationsunterstützten Wertstromdesigns, die Leistungsfähigkeit von Ablaufalternativen im dynamischen Kontext zu analysieren. Die aus der Simulation abgeleiteten Erkenntnisse können nachfolgend in eine erneute Wertstromanalyse bzw. -design einfließen.

Die Simulationsstudie wurde anhand vereinfachter Daten sowie Annahmen durchgeführt. Die vorliegenden Ergebnisse sollen diesbezüglich ausschließlich als ein Trend hinsichtlich der Zielerreichung aufgefasst werden. Eine Simulationsstudie für die Geschäftsführung zur Entscheidungsunterstützung bzw. sogar -findung liegt hiermit noch nicht vor. Weitere Untersuchungen mit der vorgestellten Methodik sind im Baustoffbetrieb angedacht; vornehmlich in Bereichen, die unterstützende Aufgaben erfüllen (z.B. Instandhaltungsprozesse).

Literatur

- BÖRKIRCHER, Mikko; ZÜLCH, Gert: Unterstützung der Arbeitsvorbereitung im Baubetrieb durch Prozess-Simulation. In: Forum Bauinformatik 2009. Hrsg.: BOTH, Petra von; KOCH, Volker. Karlsruhe: Universitätsverlag, 2009, S. 223-235.
- BRÜGGEMANN, Holger; MÜLLER, Patrick: Digitales Wertstromdesign. In: Advances in Simulation for Production and Logistics Applications. Hrsg.: RABE, Markus. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2008, S. 575-584.
- BRUNNER, Franz J.: Japanische Erfolgskonzepte. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 2008.
- HÜTTER, Steffen H.: Simulation einer nivellierten Produktion in der Automobilzuliefererindustrie. In: Advances in Simulation for Production and Logistics Applications. Hrsg.: RABE, Markus. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2008, S. 71-80.
- JONSSON, Uwe: Ein integriertes Objektmodell zu durchlaufplanorientierten Simulation von Produktionssystemen. Aachen: Shaker Verlag, 2000.
- ROTHER, Mike; SHOOK, John: Sehen lernen. Aachen: Lean Management Institut, 2006.
- WEDEMEYER, Hans-Georg von: Entscheidungsunterstützung in der Fertigungssteuerung mit Hilfe der Simulation. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1989.
- ZÜLCH, Gert; BÖRKIRCHER, Mikko: Simulation-based Analysis of Networked Processes in Civil Engineering under the Influence of Disturbances. In: Innovations in Networks. Hrsg.: SMEDS, Riitta. Espoo: Helsinki University of Technology, 2008, S. 603-612.