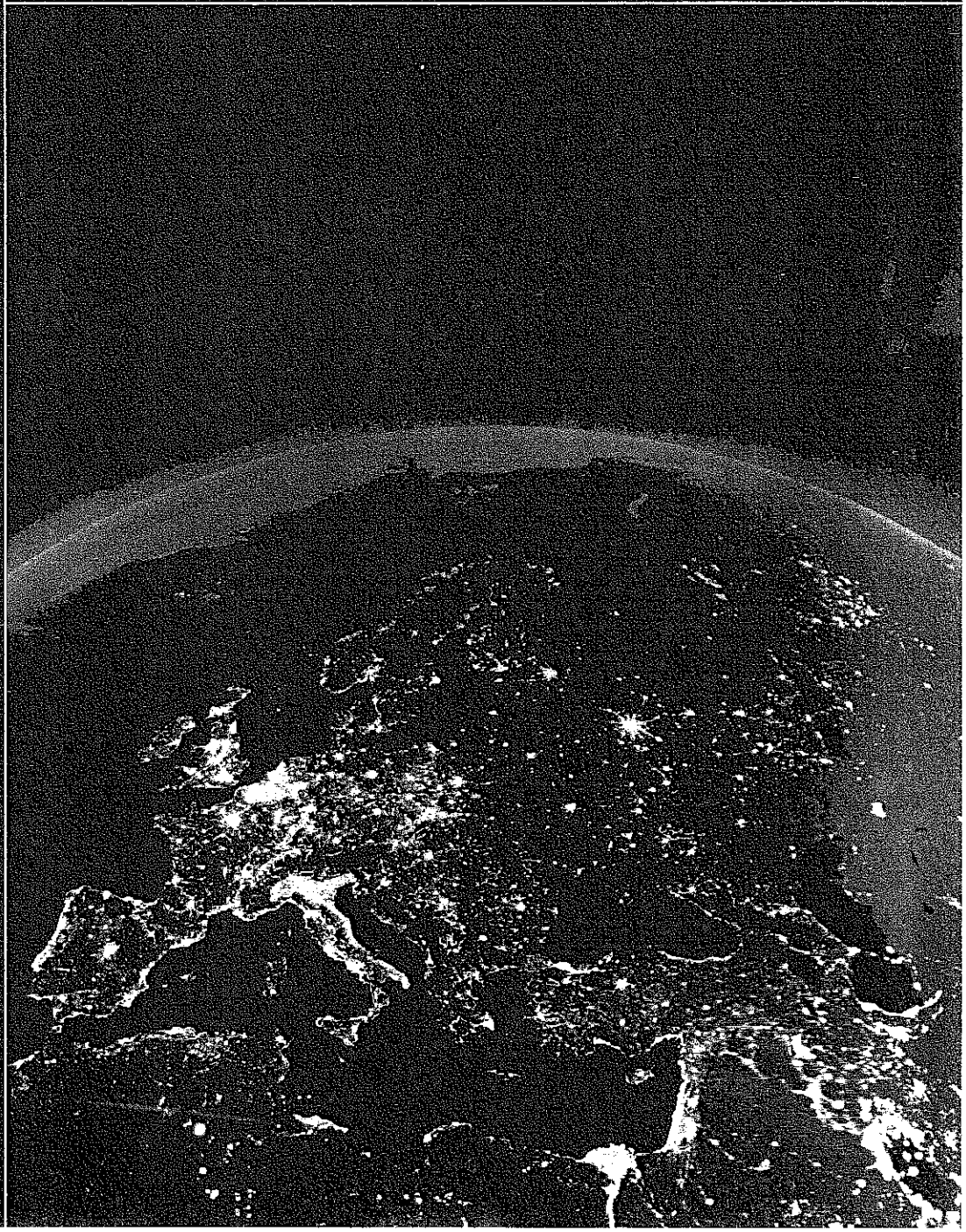
Megatrend Digitalisierung

Potenziale der Arbeits- und Betriebsorganisation

Christopher M. Schlick (Hrsg)



Schriftenreihe der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Arbeits- und Betriebsorganisation (WGAB) e.V.

GITO

Christopher M. Schlick (Hrsg)
c.schlick@iaw.rwth-aachen.de
www.iaw.rwth-aachen.de

ISBN 978-3-95545-185-1

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Veröffentlicht im GITO Verlag 2016
Gedruckt und gebunden in Berlin 2016

© GITO mbH Verlag Berlin 2016

GITO mbH Verlag
für Industrielle Informationstechnik und Organisation
Detmolder Straße 62
10715 Berlin
Tel.: +49.(0)30.41 93 83 64
Fax: +49.(0)30.41 93 83 67
E-Mail: service@gito.de

Internet: www.gito.de

Inhaltsverzeichnis

Manufacturing Data Analytics zur Identifikation dynamischer Engpässe in Produktionssystemen mit hoher wertschöpfender Variabilität.....11
Jochen Deuse, David Lenze, Ferdinand Klenner, Tilman Friedrich

Zeitmodelle zur Klassifikation und Identifikation von Produktionsereignissen.....27
Wilhelm Dangelmaier

Optimierung der Instandhaltungsstrategie durch datenanalytische Risikoklassifikation und Störungsprognose.....71
Hubert Biedermann

Agile Working – Ansätze und Nutzen agiler und beteiligungsorientierter Verfahren zur Spezifikation kollaborativer Arbeitsumgebungen.....89
Wilhelm Bauer, Carsten Schmidt

Industrie 4.0: Wissenstransfer von der Forschung in die Praxis.....111
Michael Riedl, Daniel García, Erwin Rauch, Dominik Matt

Herausforderungen der Mensch-Technik-Interaktion für die Gestaltung zukünftiger Arbeitssysteme.....131
Michael Schenk, Tina Haase, Alinde Keller, Dirk Berndt

Die Produktivitätswirkung von Augmented Reality in der Unikatfertigung.....141
Axel Friedewald, Philipp Sebastian Halata, Nikolaj Meluzov, Hermann Lödding

Gestaltung von gebrauchstauglichen tangiblen Mensch-Maschine-Schnittstellen – ein Werkstattbericht.....163
Michael Wächter, Angelika C. Bullinger

Tiefenbildbasierte Echtzeiterfassung von Arbeitsbewegungen im Rahmen digitaler Ergonomieanalysen.....175
Martin Schmauder, Edgar Scherstjanoi, Daniel Gröllich

Prozessorientierte CO2-Bewertung in der Produktion als Bestandteil des ganzheitlichen Wertstrommanagements.....193
Thomas Edtmayr, Alexander Sunk, Wilfried Sihn

Gibt es eine Arbeitswissenschaft der Digitalisierung? – Ein Diskursbeitrag.....215
Uta Wilkens, Thomas Herrmann

Ganzheitlich flexible Vernetzung durch Erweiterung bestehender IT-Strukturen zu Serviceorientierten Architekturen mithilfe von Agentensystemen zur humanzentrierten Entscheidungsunterstützung – Ein Konzept zur RAMI Umsetzung.....231
Christian Block, Friedrich Morlock, Bernd Kuhlenkötter

Business Model Innovations in the Digital Publishing Industry.....261
Hans Koller, Bianca Dennstedt

Erschließen ergonomischer Potenziale durch die Optimierung der täglichen Personaleinsatzplanung.....281
Christopher M. Schlick, Christopher Brandl

Konzeption eines MTM-basierten Bewertungsmodells für digitalen Assistenzbedarf in der cyber-physischen Montage.....295
Philipp Hold, Fabian Ranz, Wilfried Sihn

Anforderungen an die lernförderliche Gestaltung von Assistenzsystemen für die Instandhaltung – Beispiele aus der Stahl- und Prozessindustrie 323
Tina Haase, Dirk Berndt, Wilhelm Termath

Industrial Symbiosis – Potenziale für einen fabrikübergreifenden Ressourcenaustausch.....339
Uwe Dombrowski, Alexander Karl, Philipp Krenkel

Prozessorientierte CO2-Bewertung in der Produktion als Bestandteil des ganzheitlichen Wertstrommanagements

Thomas Edtmayr, Alexander Sunk, Wilfried Sihn

Technische Universität Wien und Fraunhofer Austria Research GmbH

Wesentliche Definitionen von Nachhaltigkeit (Sustainability) sind (a) dem Brundtland Report (UN Dokument[1]) „Development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generation to meet their own needs" und (b) dem United States Department of Commerce[2]: "sustainable manufacturing is defined as the creation of manufactured products that use processes that minimize negative environmental impacts, conserve energy and natural resources, are safe for employees, communities, and consumers and are economically sound" zu entnehmen. Die Europäische Kommission[3] vertritt den Life Cycle Assessment-Ansatz (LCA) des Product Life Cycle Management (PLM) mit dem Ziel, die Umwelteinflüsse und den Ressourcenverbrauch eines Produktes von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung zu minimieren. Diese Sichtweise wird um den Life Cycle Costing-Ansatz (LCC) erweitert, um die Idee der effizienten Nutzung von Ressourcen und Energie zu fundieren. Spezieller Fokus dabei ist, dass Verbesserungen in einer Phase nicht zu Lasten einer anderen Phase getätigt werden. Ebenso werden soziale, ökologische und ökonomische Aspekte in den unterschiedlichen Phasen für Regionen bzw. Volksgruppen adressiert. Bevölkerungen und ihre politischen Vertreter verlangen Verbesserungen in den Bereichen Umwelt, Gesundheit und Sicherheit (Kleindorfer et al. 2009). Zahlreiche Autoren weisen auf Kosteneinsparungspotentiale durch die Anwendung von Sustainability Management in Produktionsprozessen hin (Bevilacqua et al. 2007) (Seuring/Müller 2008) (Dou/Sarkis 2010). Das Konzept und die Messung von Sustainability sind sowohl in natürlichen Systemen als auch in soziotechnischen Systemen bekannt (Díaz-Balteiro/Romero 2004). Für ein effektives Reporting haben sich Indikatoren wie Material-, Wasser- als auch Energieverbrauch und den damit einhergehenden Emissionen – bspw. als Kohlendioxidäquivalent (CO2-Äq.) – als Standard durchgesetzt (Jasch 2000) (Mani et al. 2014).

---

1 WCED, 1987. Our Common Future (World Commission on Environment and Development, Brundtland Commission). Oxford University Press.

2 US DOC, 2014. How the DOC Defines Sustainable Manufacturing. [Online] URL: http://www.trade.gov/ (25.04.2016).

3 European Commission, 2014. EPLCA European Platform on LCA. [Online] URL: http://eplca.jrc.ec.europa.eu/ (25.04.2016).

1 Einleitung und Problemstellung

Im Konzept der verschwendungsfreien Produktion (engl. „Lean Production") – in den 1950er und 1960ern von Eiji TOYODA und Taiichi OHNO bei Toyota entwickelt – werden konventionelle Methoden in der produzierenden sowie der Service-Industrie durch Lean Methoden ersetzt. In der Literatur wurde der Begriff „Lean Production" vor allem durch das Buch „The Machine That Changed the World" geprägt und erst dadurch außerhalb Japans populär (Womack et al. 1990), da mit dem Ansatz der Vermeidung von Verschwendung hohe Rationalisierungspotentiale in der Produktion erschlossen werden können. Ein wesentlicher Bestandteil dabei ist die Betrachtung der gesamten Wertschöpfungskette, dem „Wertstrom" (engl. „Value Stream") (Womack/Jones 2003). Die zusätzliche Einbeziehung von Sustainability Management und den zu verbessernden Kriterien und Parametern wird als Weiterentwicklung zur traditionellen Lean-Betrachtung gesehen (Edtmayr et al. 2016). In den letzten Jahren ist ein Trend in Wissenschaft und Praxis zur Weiterentwicklung und Anwendung von Lean-Prinzipien und Bewertungsmodellen zur Verbesserung von Nachhaltigkeit in Produktionen erkennbar, um dem Rationalisierungsparadigma entsprechend eine Kostenreduktion durch Anwendung von Lean & Green-Praktiken zu erzielen (Carvalho et al. 2010). Die ständig wachsende Anzahl von Veröffentlichungen zu „Lean" in Kombination mit „Sustainability Management" weist auf diesen Trend hin (Martínez-Jurado/Moyano-Fuentes 2014). Eine Studie von VENKAT und WAKELAND zeigt jedoch, dass eine reine Anwendung von Lean nicht zwangsweise zu einer Verbesserung der ökologischen Ausprägung von Nachhaltigkeit führt (Venkat/Wakeland 2006).

Als Lücke in den bisher bekannten Ansätzen kann festgehalten werden, dass eine prozessorientierte Bewertung von Ressourceneinsätzen inklusive der Abhängigkeiten der Prozesse untereinander im Allgemeinen und die Kennzahlenbewertung mittels Value Stream Mapping im Speziellen nicht ausreichend vorhanden sind, um den heutigen Anforderungen der Produktions- bzw. Wertstrom-Bewertung zu genügen. Aus diesem Grund wurde im Zuge eines Forschungsprojekts von den Autoren der Ansatz verfolgt, mittels fundierter Wertstromanalyse unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien (hier: Prozessorientierte CO2-Bewertung) die Ressourcenverbräuche prozessorientiert zu quantifizieren, um fundierte Aussagen über mögliche Schwachstellen im Wertstrom treffen zu können. Mit dem vorgestellten Ansatz werden sowohl (a) Wissenschaft als auch (b) die praktische Anwendung adressiert. Konzepte hierzu werden in Kapitel 2.1 vorgestellt. So stellt Haag 2013 bspw. ein mehrere Peripherieebenen-übergreifendes Konzept vor, das auch eine Bottom-up-Analyse ermöglicht. Auch in Kapitel 2.2 wird auf bestehenden Ansätzen zur Energiewertstrom-Methode aufgesetzt Die praktische Anwendung steht teilweise schon heute aber vor allem zukünftig vor der Herausforderung, über Tools und Ansätze zu verfügen, um Sustainability zu bewerten und gezielt Verbesserungspotentiale erschließen zu können. Der in dieser Arbeit vorgestellte Ansatz bietet einen Beitrag als detailliertes Analyse-Instrument bzw. -Tool, um darauf aufbauend mit bekannten Verbesserungsansätzen die Ressourceneinsätze gezielt zu verringern.

Dazu dient ein Modell, das einerseits die genannten Ressourceneinsätze im Detail erhebt und je Element im Wertstrom (i.e. „lokal") bewertet, sodass diese in aggregierter Form als Wertstrom-Kennzahlen (i.e. „kumuliert") dem Wertstromplaner zu Verfügung gestellt werden können. Die Aufbereitung der lokalen und kumulierten Kennzahlen bietet dem Wertstromplaner somit – im Gegensatz zu bisherigen Bewertungsmodellen wie bspw. über Bilanzierungen – eine Bottom-up-Analyse auf Prozess-Ebene und aggregiert die Kennzahlen und Parameter auf Wertstrom-Ebene. Folglich ist eine Sustainability-Bewertung auf Produkt-Ebene möglich, indem prozessorientiert Ressourcenverbräuche im Wertstrom einem einzelnen Produkt zugeordnet werden können. Das vorgestellte Bewertungsmodell liefert dabei eine einheitliche/standardisierte Berechnungsgrundlage für Kennzahlen (hier: CO2-Äq.). Damit wird das Ziel verfolgt, im Rahmen des „ganzheitlichen Wertstrommanagements" den traditionellen Bezugsrahmen für Lean Management auf andere Bereiche und Aspekte wie bspw. Sustainability zu erweitern.

2 Sustainability Management im Kontext der Arbeits- und Betriebsorganisation

In diesem Kapitel wird der Stand der Technik an Ansätzen, Modellen und Vorgehensweisen zur CO2-Bewertung in Produktionen dargestellt. Somit ergeben sich im Kontext der Arbeits- und Betriebsorganisation Handlungsalternativen, um CO2-verursachende Ressourceneinsätze gezielt planen, steuern, bewerten und gestalten – also „managen" – zu können. Die Vielzahl an wissenschaftlichen Publikationen in den folgenden Bereichen bestätigen das aktuell sehr hohe Interesse seitens Wirtschaft, Gesetzgeber, Kunden etc. am Thema Nachhaltigkeit bzw. Sustainability im gesamten Product Life Cycle.

2.1 Allgemeine Ansätze zum Sustainability Management in der Produktion

In der Literatur existieren mehrere Ansätze zur Verbindung von Sustainability Management und Produktion, ein für CO2-Bewertung relevanter Auszug wird hier angeführt und kurz beschrieben: (a) Sehr häufig wird als Kenngröße die Energieeffizienz als Quotient von Nettoproduktionswert und Primärenergieeinsatz mit der Einheit EUR/MWh herangezogen, wobei das System der Produktion als „Black Box" betrachtet wird (Müller et al. 2009); (b) Modellierungsansätze in der klassischen Fabrikplanung mit dem Ziel der Energie- und Ressourceneffizienz (Hopf 2016) (Haag 2013). Dabei werden Elemente der Fabrik als Subsysteme bzw. Peripherien modelliert und mittels Gestaltungsansätzen – ähnlich zum traditionellen Wertstromdesign – relevante Kennzahlen verbessert; (c) Das „U.S. Environmental Protection Agency's (EPA) lean and environmental toolkit"[4] dient der Illustration von Handlungsoptionen bei Verschwendung (US EPA 2014).

---

[4] US EPA, 2014. The Lean, Energy and Climate Toolkit. [Online] URL: http://www.epa.gov/lean/environment/toolkits/energy/index.htm (25.04.2016).

Es hilft Lean-Anwendern bei der Identifikation von Energieverschwendung, um zur Verbesserung der Umweltbelastung beizutragen (Faulkner/Badurdeen, 2014); (d) die Norm DIN EN ISO 50001 in der gültigen Fassung unterstützt Unternehmen beim Aufbau eines Energiemanagement-Systems sowie beim Betreiben der Prozesse, um eine Verbesserung der Energieeffizienz, des Energieeinsatzes und des Energieverbrauchs zu erreichen; (e) verschiedenste Ansätze der CO2-Bewertung über den gesamten Product Life Cycle, wobei die Phase „Manufacturing" (Produktion) meist als ein einziges Objekt in der gesamten Modellierung dargestellt wird (Kishita et al. 2016). Hierfür werden dann – analog zu Bilanzierungen – Ressourceneinsätze gesamt betrachtet und auf die fertigen Produkte umgerechnet (Feiz et al. 2015).

2.2 Spezielle Ansätze zur Sustainability- bzw. CO2-Bewertung in der Produktion am Beispiel von Value Stream Mapping

Auch im Value Stream Mapping sind unterschiedliche Ansätze bekannt, die den Fokus auf ökologische Nachhaltigkeit setzen, um in weiterer Folge auch ökonomische Verbesserungen zu erzielen: (a) Die Methode „Energiewertstromdesign" (Erlach 2009) mit Fokus auf Energieeinsparung untersucht jeden Herstellungsschritt auf Energieintensität und Energieverschwendung, sowohl in Betriebs- als auch Anlauf- und Abschaltphasen. Die Arbeit von ERLACH ist praxisnah und unterstützt bei der direkten Umsetzung von Einsparmaßnahmen. Dabei werden nur die Ressourcen bzw. Energiemedien Elektrizität, Gas, Druckluft betrachtet, eine umfassende CO2-Bewertung wird nicht unterstützt; (b) „Green VSM" (GVSM) (Dadashzadeh/Wharton 2012) mit Fokus auf Büroarbeiten und den Verbräuchen von Energie, Wasser, Materialien, Transportaufwänden sowie dem Entstehen von Müll und Emissionen. Die visuelle Darstellung ist limitiert (Faulkner/Badurdeen 2014); (c) Das „Lean Sustainable Production Assessment Tool" (Kuriger et al. 2011) bewertet Produktionen mit den Sustainability-Kennzahlen Wasserverbrauch, Materialverbrauch, Energie und CO2-Emissionen. Die visuelle Darstellung wird – wie im VSM üblich – jedoch nicht behandelt (Faulkner/Badurdeen, 2014); (d) Der „Framework (...) for Sustainable Manufacturing Mapping" (Paju et al. 2010) betrachtet ausgewählte Sustainability-Kennzahlen und basiert auf VSM, Life Cycle Assessment (LCA) und Discrete Event Simulation (DES), die Wertstromperspektive wird nicht in vollem Umfang eingenommen; (e) „Multi-Layer-Stream Mapping" (MSM®) bewertet sämtliche Prozesse im Wertstrom mittels Effizienz-Kennzahlen, indem der wertschöpfende dem gesamten Energie- bzw. Ressourceneinsatz gegenübergestellt wird. Ziel ist es, in sämtlichen Produktionsstufen 100% Effizienz zu erhalten, eine visuelle Kennzeichnung der „Verschwendung" unterstützt bei der Kommunikation von Potentialen. Diese Darstellung ist nicht nur auf Ressourceneinsätze mit ökologischen Auswirkungen anwendbar, die CO2-Bewertung wird jedoch nicht unterstützt (Lourenço et al. 2013); (f) SVSM bewertet die Abfallentstehung im Wertstrom mit einer Modellierung, die im VSM-IT-Tool VASCO abgebildet ist (Sunk et al. 2016). Zusammenfassend wird für den hier vorgestellten Ansatz festgehalten, dass sich dieser zwar an den Wertstrom-Bewertungen lokal und kumuliert orientiert, darüber hinaus jedoch aufgrund der zugrundeliegenden Modellierung eine sehr fundierte Bewertung mittels Ressourceneinsätzen ermöglicht. Somit wird eine zielorientierte Priorisierung von Maßnahmen zur Verbesserung der Wertstrom-Kennzahlen unterstützt.

3 Ganzheitliches Wertstrommanagement im Kontext der Arbeits- und Betriebsorganisation sowie der Digitalisierung

Dieses Kapitel skizziert den Weg und die Anwendungsmöglichkeiten von Wertstrommanagement beginnend bei Toyota in der Nachkriegszeit bis hin zum heutigen Stand der Technik. Ein Wertstrom umfasst alle Aktivitäten, d.h. wertschöpfende, nicht wertschöpfende und unterstützende, die notwendig sind, um ein Produkt (oder eine Dienstleistung) zu erzeugen und dem Kunden zur Verfügung zu stellen. Dazu gehören die operativen Prozesse, der interne Materialfluss zwischen den Prozessen, der externe Materialfluss von den Lieferanten und zum Kunden sowie deren Ansteuerung über den Informationsfluss (Rother/Shook 2011).

3.1 „Value Stream Mapping" als Tool

Wertstromanalyse und -design (engl. Value Stream Mapping: VSM) wurde ursprünglich als Tool bzw. Verfahren innerhalb des Toyota Produktions-systems entwickelt (Ōno 1988) (Liker 2004). Die Ingenieure bei Toyota modellierten in der Nachkriegszeit ihre Wertströme mit Bleistift und Papier mit einfachen Symbolen. Das Vorgehen der visuellen Darstellung als „Diagramm über den Material- und Informationsfluss" wurde jedoch nie als eigenständige Methodik bezeichnet, sondern nur als Mittel zum Zweck herangezogen. VSM ist somit ein einfach zu verstehendes und anzuwendendes, jedoch sehr effektives Tool, um einen ganzheitlichen Überblick über den Zustand der Wertströme innerhalb einer Organisation zu gewinnen. Davon ausgehend wurden Verbesserungsaktivitäten abgeleitet und umgesetzt (Sihn et al. 2016). Die Darstellung eines Wertstroms mit der zugehörigen Zeitlinie ist im Use Case angeführt. Erst durch die Veröffentlichung "Sehen lernen" (engl. "Learning to see") von ROTHER und SHOOK im Jahr 1998 wurde aus diesem Vorgehen, das die Mitarbeiter von Toyota verinnerlicht hatten, eine eigene Methodik und konnte so erst den weltweiten Durchbruch erlangen. Die Prinzipien der Methodik Wertstromdesign stammen aus dem Toyota Produktionssystem (Rother/Shook 2011).

3.2 Wertstromdesign als Methode

Basierend auf der Analyse der momentanen Situation (= Ist-Zustand) werden flussorientierte Zielzustände eines Wertstroms (= Soll-Zustand) geplant und umgesetzt (Rother/Shook 2003) (Klevers 2007) (Erlach 2010). Um mögliche Verbesserungspotentiale zu realisieren, werden beim klassischen Wertstromdesign die Bearbeitungszeiten dem Kundentakt angeglichen und deren Summe mit der Durchlaufzeit verglichen (Kenngröße: Flussgrad). Je größer die Differenz zwischen den Summen von Durchlaufzeit und Bearbeitungszeit, desto größer das Verbesserungspotential, welches üblicherweise mittels Reduktion der Bestände erschlossen wird (Erlach 2010). Bekannten Ansätze zur Reduktion der Durchlaufzeit(en) sind bspw. (a) Implementierung einer Pull-Steuerung, (b) Dimensionierung von FIFO-Bahnen und Kanban-Supermärkte über (interne) Wiederbeschaffungszeiten bezogen auf Bedarfe der Produktionsvarianten von nachgelagerten Prozessen, (c) CONWIP-Steuerung, (d) Positionierung mittels logistischer Kennlinien, (e) Bestandsauslegung mittels dynami-

scher Disposition (Hopp/Spearman 2011) (Gudehus 2012). Die Methodik Wertstromdesign wird in folgenden vier Schritten ausgeführt: (1) Auswahl einer Produktfamilie, (2) Wertstromanalyse (Ist-Zustand), (3) Wertstromdesign (Soll-Zustand), und (4) Umsetzung. In Schritt (3) wird der betrachtete Wertstrom effizient und „am Kunden orientiert" gestaltet, was den Charakteristika des Idealzustands in Produktionssystemen entspricht. Kundenorientierung drückt sich durch die Orientierung am Kundentakt sowie durch Vermeidung von Verschwendung aus. Um vom Ist-Zustand zum verbesserten Soll-Zustand zu gelangen haben ROTHER und SHOOK sieben Leitlinien definiert, die eine strukturierte Vorgehensweise zur Neugestaltung des Wertstroms bzw. der Produktion ermöglichen (Sihn et al. 2016). Diese Leitlinien wurden kontinuierlich überprüft und erweitert, weshalb ERLACH zehn Gestaltungsrichtlinien formulierte (Erlach 2010).

3.3 Ganzheitliches Wertstrommanagement mittels IT-gestütztem VSM-Tool „VASCO"

Heutzutage sind die Anforderungen an Produktionen jedoch andere als in der Nachkriegszeit, als bei Toyota Zeit und Kosten (neben der Qualität) im Vordergrund standen. Um heute am globalen Markt bestehen zu können, müssen Produktionen auch hinsichtlich ökologischer Nachhaltigkeit Verbesserungen anstreben, um bspw. zukünftig noch Neuaufträge generieren zu können. Beim Erkennen bzw. Umsetzen ist Value Stream Mapping jedoch noch immer ein sehr wirkungsvolles Tool bzw. Methodik, da Wirkzusammenhänge sehr gut zu verdeutlichen und zu kommunizieren sind. Somit steigen auch die Anforderungen an ein zeitgerechtes VSM, das mit IT-Support vertiefend unterstützt werden kann. Aus diesem Grund hat Fraunhofer Austria im Rahmen von Auftragsforschung den Stand der Technik der Wertstrom-Bewertung modelliert und in einem MS Visio-Addin abgebildet („VASCO": Value Stream Creator and Explorer). Darüber hinaus können erweiterte Aspekte des ganzheitlichen Wertstrommanagements als Plugins integriert werden, z.B. Flächen, Transportwege, Transportzeiten, Kosten (Berndt et al. 2016) (Berndt/Sunk 2016). VASCO schafft Transparenz in Wertströmen, indem der zur Herstellung des geforderten Kundenbedarfs erforderliche Ressourceneinsatz – bspw. in Form von Zeit, Personal, Material, Energie, Fläche, Betriebsmittel etc. – mit in der Praxis anerkannten Kennzahlen bewertet werden kann. Durch Änderung der Input-Parameter können so bspw. Verbesserungsmaßnahmen sofort und monetär bewertet werden. Ökologische Verbesserungen, z.B. Reduktion der Ausschussraten, können mit VASCO auch monetär bewertet werden. Dies hilft, um in der täglichen Verbesserungsarbeit zielgerichtet Maßnahmen[5] setzen zu können. Grundsätzlich hat VASCO einen Zeichnungs- und einen Berechnungs-Modus. Im Berechnungs-Modus werden demnach die an den Wertstrom-Elementen im Zeichnungs-Modus lokal berechneten Kennzahlen über den gesamten Wertstrom aufsummiert und auf Menge an Gutteilen umgelegt.

---

5 Gemeint sind sowohl kontinuierliche, schrittweise Verbesserungen nach KVP bzw. KAIZEN als auch Prozessinnovationen, die meistens mit Investitionen verbunden sind und diskontinuierlich auftreten.

4 Ansatz zur prozessorientierten CO2-Bewertung im Wertstrom

In der prozessorientierten Ressourcenverbrauchsrechnung wird jedem am Materialfluss beteiligten Element im Wertstrom eine Modellierung von Einsatzfaktoren hinterlegt, aus denen sich lokale und für den Wertstrom kumulierte Kennzahlen berechnen lassen (Sunk et al. 2016). In diesem Beitrag wir die Modellierung zur prozessorientierten CO2-Bewertung im Wertstrom vorgestellt. Konkret wird im PLC die Phase Herstellung bzw. Produktion betrachtet, was im VSM als innerbetrieblicher, einstufiger Bezugsrahmen „Rampe-zu-Rampe" (engl. Dock-to-Dock) verstanden werden kann.

4.1 CO2-verursachende Ressourceneinsätze in Prozessen, Transporten, Lagerstufen und Infrastruktur

Nachdem der Wertstrom im PLC abgegrenzt wurde, reduzieren sich die CO2-verursachenden Ressourceneinsätze auf die Aktivitäten zwischen Wareneingang und Versand. Folglich ist der CO2-Fußabdruck des eingesetzten Materials – bspw. in Form einer Variantenstückliste der betrachteten Produktfamilie – explizit nicht im Fokus der Betrachtung, da diese in früheren Produktionsstufen bzw. Phasen des PLC separat und detailliert zu betrachten sind. Nichtsdestotrotz sind CO2-verursachende Ressourceneinsätze an der Wertschöpfung beteiligt. Je nach Element im Wertstrom können diese für (a) Prozesse – abhängig von der eingesetzten Prozesstechnologie (b) Transporte – abhängig von der Wahl des Transportsystems; (c) Lagerstufen – abhängig vom eingesetzten Lagerhaltungssystem; (d) Infrastruktur wie bspw. Beleuchtung, Klima, Reinraumtechnologie etc. die Einsätze Elektrizität, Erdgas, andere Gase, Lösemittel etc. sein. Abhängig von den vorhandenen Technologien sind also je nach Anwendungsfall Input-Felder sämtlicher CO2-verursachenden Ressourcen in der Modellierung zu berücksichtigen. Die eingesetzten Ressourcen sind dann entweder direkt einem Produkt zuordenbar oder müssen über geeignete Verteilungsschlüssel auf das einzelne (Zwischen- bzw. Fertig-) Produkt umgelegt werden. Die Infrastruktur wird im Wertstrom explizit nicht separat angeführt und bewertet, sondern ist als indirekter Bestandteil je Prozess, Transport oder Lagerstufe berücksichtigt. Als Verteilungsschlüssel hierfür sind bspw. Grundfläche oder Volumen anwendbar.

4.2 CO2-verursachende Ressourceneinsätze im idealtypischen Verwertungskreislauf

Im ganzheitlichen Wertstrommanagement, das zur traditionellen Wertstromverbesserung auch Sustainability-Kriterien berücksichtigt, werden zusätzlich zu den an der Wertschöpfung beteiligten Prozessen und erforderlichen Transporten und Lagerstufen demnach auch

Infrastruktur und Ressourcenkreisläufe der Entsorgung betrachtet. In diesem ganzheitlichen Ansatz wird jedem Prozess im Wertstrom ein virtueller idealtypischer Verwertungskreislauf (siehe Abbildung 1) hinterlegt, welcher die Kategorien[6] Reuse, Recycle, Recovery und Disposal beinhaltet, um eben den Kreislauf der Verwertung bzw. Entsorgung mit zu bewerten. Diese Verwertungskategorien beziehen sich auf materielle Ressourceneinsätze, da Energie entweder wertschöpfend oder verschwendend eingesetzt bzw. verbraucht wird (Lourenço et al. 2013). Dieser idealtypische Verwertungskreislauf besteht aus fünf Transporten, drei Lagerstufen und dem Verwertungsprozess selbst, womit versucht wird sämtliche innerbetrieblichen Aufwände abzudecken. Er ist für alle Arten von Produktions- und Montageprozessen anwendbar. Nach jedem Prozess folgt einerseits die Weitergabe der Gutteile, und andererseits die Entnahme des gesamten Abfalls an eingesetztem Material, welcher sich aus Brutto-Netto-Mengendifferenz, Rüstabfall und den eigentlichen Schlechtteilen zusammensetzt. Der gesamte Abfall wird dabei gleich nach dem Prozess abgeführt (i) und zwischengelagert (ii), ehe er abtransportiert (iii) und vor der internen Aufbereitung bzw. Verwertung (vi) erneut zwischengelagert (iv) wird. Es erfolgen dabei sowohl Zu- (v) als auch der Abtransport (vii) des aufbereiteten Materials vom Verwertungsprozess inkl. Lagerung nach ebendiesem (viii), bevor dieses der endgültigen Bestimmung (d.h. einer der Verwertungskategorien) zugeführt (ix) wird. Diese Modellierung wird jedem Prozess im Wertstrom virtuell hinterlegt, sodass jedem einzelnen Prozess theoretisch vier idealtypische Verwertungskreisläufe bezugnehmend auf die vier Verwertungskategorien hinterlegt werden können (Sunk et al. 2016). Die gewählte Anzahl an Elementen im idealtypischen Verwertungskreislauf repräsentieren die in der Praxis gängigen Kombinationen, wobei einerseits nicht alle Elemente erforderlich sind oder andererseits mehrfache interne Aufwände zusammengefasst werden müssen.

6 Directive 2008/98/EC on waste (Waste Framework Directive). [Online] URL: http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/ (28.06.2016).

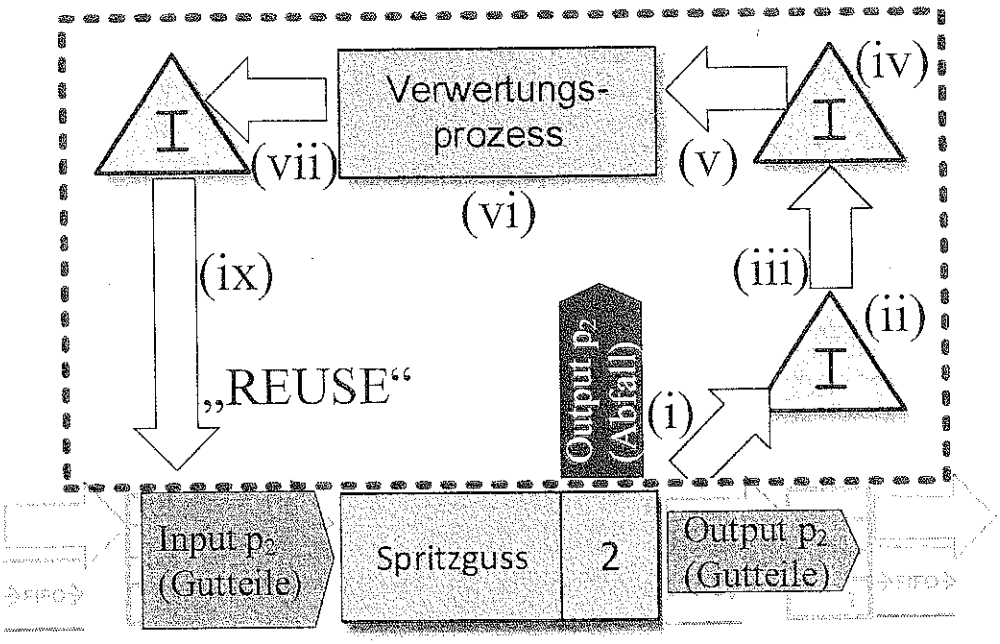


Abbildung 1: Idealtypischer Verwertungskreislauf des Spritzguss-Prozesses im Wertstrom am Beispiel „Reuse" (Verwertungsprozess ist bspw. „Shreddern")

Für die Elemente im idealtypischen Verwertungskreislauf sind CO2-verursachende Ressourceneinsätze ähnlich den Elementen im Wertstrom zu ermitteln und in den Input-Feldern der Modellierung einzutragen. Der große Unterschied dabei ist, dass eine direkte Zuordnung des Ausschusses bzw. Abfalls eines Betrachtungszeitraums auf die Gutteile nicht möglich ist, weshalb hier stets Verteilungsschlüssel erforderlich sind. Als Verteilungsschlüssel kann bspw. die produzierte Menge an Gutteilen in einem definierten Betrachtungszeitraum (z.B. Schicht, Fabriktag oder Woche) gewählt werden; in VASCO ist der Fabriktag hinterlegt.

4.3 Prozessorientierte Ressourcenverbrauchsrechnung im VSM

Im VASCO-Modell ist eine prozessorientierte Ressourcenverbrauchs-rechnung hinterlegt. Grundlage hierfür ist die Berücksichtigung von (kumulierten) Ausschussraten je Prozess. Bei einer seriellen Abfolge von Prozessen im Wertstrom und den dabei auftretenden Ausschussraten müssen die jeweils vorgelagerten Prozesse mehr produzieren, um schlussendlich die geforderte Menge dem Kunden zur Verfügung stellen zu können. Entgegen der Flussrichtung steigt demzufolge für jeden einzelnen Prozess die kumulierte Ausschussrate (S_{cum}) ebenso wie die zu produzierende Menge, die einen Prozess i verlässt und an den Folgeprozess i+1 weitergegeben wird. Es gelten die Formeln 1a und 1b.

$$S_{cum}(i) = 1 - \prod_{i=n}^{1}(1 - S_i) \text{ und } D_{net.p}(i) = \frac{D_{net}}{1 - S_{cum}(i)}$$

Formeln 1a und 1b: Berechnung der kumulierten Ausschussrate und der erhöhten Produktionsmenge gegenüber dem Kundenbedarf je Prozess i flussaufwärts

Dabei sind S_{cum} die kumulierte Ausschussrate des betrachteten Prozesses i und S_i die lokale Ausschussrate je Prozess, n steht für die Laufvariable der Prozesse – ausgehend vom Versand – flussaufwärts. $D_{net.p}$ entspricht der Produktionsmenge je Prozess, D_{net} dem tatsächlichen Kundenbedarf im Betrachtungszeitraum (hier: Fabriktag) (Sunk et al. 2016). Die gesamte Modellierung der Energieeinsätze (sämtliche CO2-verursachende Ressourceneinsätze sind analog dazu zu bewerten) am Beispiel „Gas" (z.B. Erdgas) dargelegt.

$$Gas_{\text{sus}} = \sum_{l=reuse}^{disposal} \left[\sum_{j=1}^{5} Gas_{\text{transport}} + \sum_{k=1}^{3} Gas_{\text{buffer}} + Gas_{\text{sus.process}} \right]$$

Formel 2: Berechnung der Ressourceneinsätze im idealtypischen Verwertungskreislauf

Je Prozess werden die CO2-verursachenden Ressourcenverbräuche für bis zu vier idealtypische Verwertungskreisläufe berechnet, wobei für die Summe im gesamten Wertstrom die Verbräuche auf die an den Kunden ausgelieferten Gutteile umgelegt werden. Formel 3 zeigt die Umrechnung mittels kumulierter Ausschussrate, die in VASCO hinterlegt ist.

$$Gas_{\text{ok}}(VS) = \sum_{i=1}^{n} \frac{Gas_{\text{ok}}(i)}{1 - s_{\text{cum}}(i+1)}$$

Formel 3: Berechnung der Kennzahl Gas in kWh/Stück über den Wertstrom für ein an den Kunden ausgeliefertes Gutteil

Einfacher ist die Modellierung der Ressourceneinsätze für Prozesse, Transporte und Lager(-stufen)/Puffer in VASCO. In der CO2-Datenlinie wird die gesamte Energieintensität (EI) in den Prozessen dargestellt. Dabei werden für parallele Prozesse die Summen berechnet und angezeigt, zwischen zwei Prozessen werden die EI von Transporten und Lagerstufen addiert. Aufgrund der möglichen Komplexität[7] und Schwierigkeiten bei der Darstellung wird die Auswertung sämtlicher Energieeinsätze in einer separaten KPI-Darstellung (siehe Abbildung 8) angezeigt und in der Datenlinie „nur" die EI der Prozesse angezeigt (siehe Abbildung 9).

4.4 Aggregation der CO2-verursachenden Ressourceneinsätze auf Wertstrom-Ebene

Die lokalen – d.h. in den Elementen des Wertstroms inkl. idealtypische Verwertungskreisläufe – CO2-verursachenden Ressourceneinsätze können entlang des Wertstroms kumuliert werden. Ohne Berücksichtigung von Schlechtteilen sämtlicher Prozesse ist der Summenverbrauch je (Ressourcen-) Einsatzfaktor im Wertstrom analog der Zeitlinie im traditionellen Wertstromdesign zu berechnen – also als Summe. Im Falle der Berücksichtigung von Schlechtteilen und somit Ausschussraten können bzw. müssen die CO2-verursachenden Ressourceneinsätze den an Kunden ausgelieferten Gutteilen anteilig addiert werden. Dies kann bspw. über kumulierte Ausschussraten je Element im Wertstrom erfolgen. Die Auswirkungen sind im nachfolgenden Use Case ersichtlich.

4.5 Umrechnungsfaktoren der Ressourceneinsätze auf CO2-Äq.

Die CO2-verursachenden Ressourceneinsätze sind in der Modellierung in SI-Einheiten auf Stückbasis oder für den definierten Betrachtungszeitraum anzugeben. Anschließend wird über die Modellierung auf Stückbasis automatisch umgerechnet, um eine einheitliche Bewertung sämtlicher Elemente im Wertstrom zu ermöglichen. Anschließend werden mittels geeigneter Umrechnungsfaktoren die CO2-Äquivalente umgerechnet (z.B. kgCO2 / Stück). Diese sind bspw. abhängig vom Energiemix am betrachteten Standort, der chemischen Zusammensetzung der eingesetzten Ressourcen etc. Genaue Auskunft darüber sind über Herstellerangaben, Websites[8], diversen Online-Rechnern, aber auch in der wissenschaftlichen Literatur wie bspw. (Rajaeifar et al. 2014) und (Feiz et al. 2015) zu finden und für den betrachteten Anwendungsfall individuell zu ermitteln. Aus eigener Erfahrung und bezugnehmend auf die verwendete Literatur wird an dieser Stelle ausdrücklich auf die große Herausforderung bei der Ermittlung der tatsächlichen Umrechnungsfaktoren hingewiesen.

---

7 Parallele Materialflüsse können in VASCO sowohl unterschiedliche Prozesstechnologien mit unterschiedlichen Ressourceneinsätzen als auch parallele Materialflüsse mit unterschiedlichen Baugruppen bedeuten. Ebenso sind mehrere Lagerstufen in Serie möglich.

8 URL: http://www.leics.gov.uk/calculating_our_carbon_footprint.pdf. (14.04.2016)

5 Use Case: CO2-Bewertung im Wertstrom

Der folgende Use Case basiert auf einem vereinfachten Beispiel aus der Automobil-Zulieferindustrie, das in der Praxis umfassend modelliert und bewertet wurde. Um Komplexität aus dem Beitrag zu nehmen, wird ein serieller Wertstrom als Darstellungsform gewählt. Die Ergebnisse aus der Evaluierung in der Praxis – mit der Stichprobe 1 – entsprachen mit einer Abweichung von ~2,5% dem Wert, der an den OEM berichtet wurde. Es sei an dieser Stelle jedoch anzumerken, dass sowohl die Benennung der Prozessschritte, deren Reihenfolge und Häufigkeit sowie die hier angeführten Prozessparameter frei erfunden sind, um keine Rückschlüsse auf tatsächliche Gegebenheiten zu ermöglichen. Der betrachtete Automobil-Zulieferer fertigt Module für verschiedene OEM, wobei die Fertigung von Seitentür-Innenverkleidungen als Produktfamilie gewählt wurde.

5.1 Visuelle Darstellung des Wertstroms in VASCO

Der vereinfachte Wertstrom wurde mit VASCO erstellt, indem standardisierte Symbole für ein schnelles Zeichnen verwendet wurden. Die Ressourcenverbräuche sind in dem hinterlegten Datenmodell einzugeben und werden nachfolgend genau beschrieben. Allgemein werden bei der Berechnung der Gesamtdurchlaufzeit (Lead Time, LT) alle Wartezeiten von Material in den Lagerstufen im Wertstrom addiert, dasselbe gilt für die Berechnung der Gesamtbearbeitungsdauer aller Prozesse. Bearbeitungszeiten und Durchlaufzeiten sowie deren jeweilige Summe werden in der „Datenlinie Lead Time" unterhalb des Wertstroms dargestellt. Derselbe Ansatz wird für die CO2-Datenlinie genutzt. Als Darstellungsform der CO2-Datenlinie wurde eine an der „Datenlinie Lead Time" orientierte Linienführung gewählt. Unterhalb der Elemente im Wertstrom werden dann Energieeinsätze als Energieintensität (EI) für Elektrizität, Gas und Druckluft in kWh/Stk. nach ERLACH angegeben. Unterhalb des Kundensymbols – also am Ende des Wertstroms – wird für Energieintensität die Summe (S-EI) an kWh/Stk. automatisch berechnet und angezeigt. (siehe Use Case Abbildung 9).

5.2 Eingabe der Ressourcenverbräuche in VASCO

Durch Öffnen der Eigenschaften des Prozess-Shapes wird ein Fenster geöffnet, in dem die Ressourcen-Verbräuche je Stück manuell eingetragen werden können. Im vorliegenden Fall sind das direkte, am Prozess messbare Energieeinsätze (entspricht „2. Energy – direct"; siehe Abbildung 2) als Intensitäten (hier: Umrechnung in kWh erforderlich!) als auch Energieeinsätze aufgrund von Infrastruktur (indirekt) wie bspw. Beleuchtung, Heizung/Kühlung, Druckluftanschlüsse allgemein. In der Praxis soll dies mittels Messgerät direkt am Prozess für ebendiesen erfolgen. Indirekte Energieeinsätze sind bspw. an einem zentralen Verteiler zu erheben und dann über die Grundflächenbilanz den jeweiligen Bereichen (Prozesse, Lager) als Verteilungsschlüssel zuzuordnen. Hier sind also Nebenrechnungen abseits von VASCO erforderlich und gestalten sich in der Praxis als sehr umfangreich. Ähnlich verhält es sich bei den Elementen „Lager(-stufe)" bzw. „Puffer" und „Transport". Es wird jedoch

nicht zwischen direkt und indirekt unterschieden, da dies in der Praxis einerseits schwer bis gar nicht möglich ist und andererseits der Anteil gegenüber den direkten Prozessverbräuchen (meist) verschwindend gering ist. Außerdem soll der traditionelle Aspekt des VSM nicht ganz verloren gehen, sodass gewisse Vereinfachungen getroffen werden müssen – an der Aussagekraft ändert sich jedenfalls nichts.

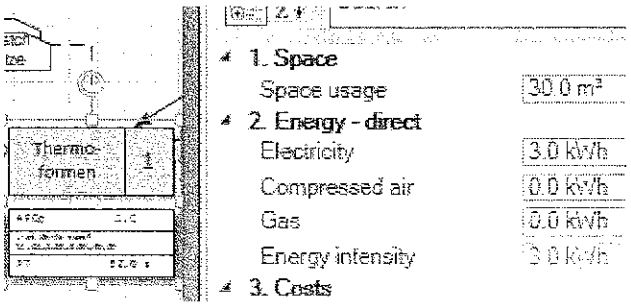


Abbildung 2: Eingabe der direkten Energieverbräuche in VASCO an einem Prozess

Für Lager sind deshalb für sämtliche Lagerhaltungssysteme die gesamten Energieeinsätze zu erfassen und in VASCO einzugeben. Bei den Transporten sind nur direkte Energieeinsätze zu erfassen, da der indirekte Anteil über die erforderliche Grundfläche einerseits nicht einer spezifischen Produktfamilie zuordenbar ist und andererseits die Transportwege ober- bzw. unterhalb der Lager und Prozesse stattfinden kann. Um deshalb Ungenauigkeiten zu vermeiden, indem bspw. Transportflächen in der Flächenbilanz keine Berücksichtigung finden, wird empfohlen den indirekten Anteil der Transporte den Flächen der Lagerstufen zuzuordnen. Abbildung 3 zeigt die Eingabefelder der Transporte und Lager.

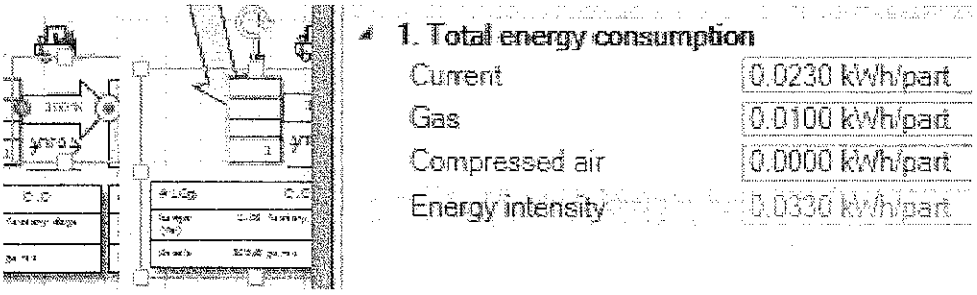


Abbildung 3: Eingabe der Energieverbräuche in VASCO bei einem Transport (nur direkt) und einem Lager (nur gesamt)

Der in Kapitel 4.2 vorgestellte idealtypische Verwertungskreislauf wird analog zu den bisher vorgestellten Elementen im VASCO-Wertstrom bewertet (siehe Abbildungen 5 und 6). Zuerst werden je Verwertungskategorie (hier: Reuse) die Energieeinsätze in kWh im Betrachtungszeitraum des Kundenbedarfs (z.B. pro Schicht oder pro Fabriktag) angegeben. Im Anschluss berechnet VASCO die Energieeinsätze je produziertem Gutteil und auch die CO2-Äq. (engl. Carbon Dioxide Equivalent (CDE)) für ebendiese. Die Umrechnung wird im nächsten Kapitel erklärt.

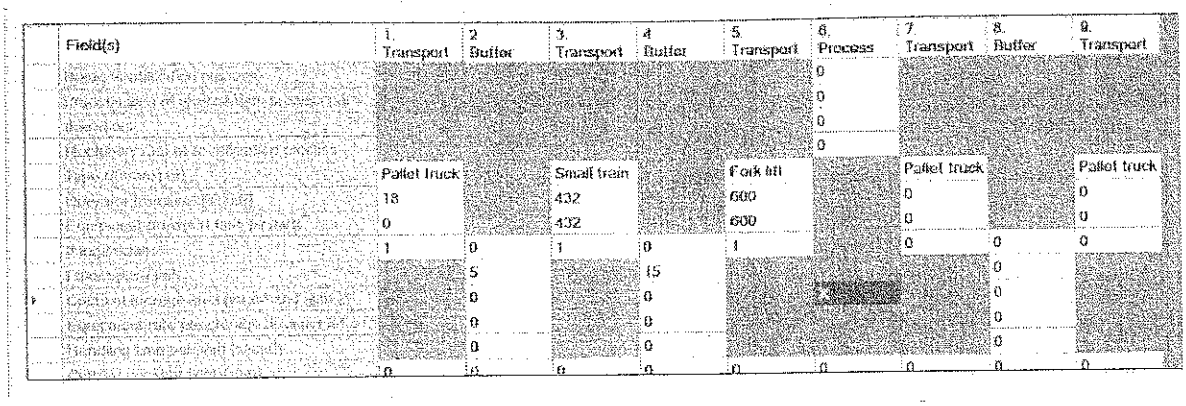


Abbildung 4: Eingabe der Ressourcenverbräuche (inkl. Energie) im Verwertungskreislauf (hier: Reuse)

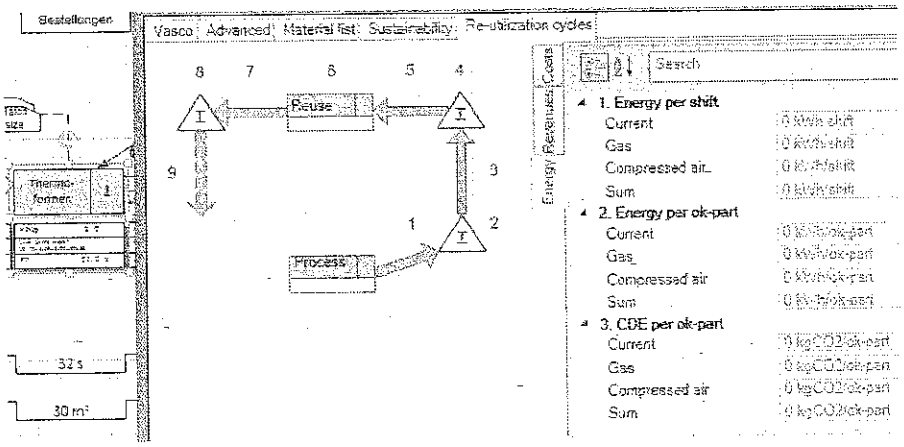


Abbildung 5: Energieverbräuche und CO2-Bewertung in VASCO im idealtypischen Verwertungskreislauf

5.3 Eingabe der Umrechnungsfaktoren zur CO2-Bewertung als CO2-Äq.

VASCO verfügt über einen Reiter „CDE" in den allgemeinen VASCO-Eigenschaften, in denen unter anderem Kostensätze, Schichtmodelle und Transportmittel definiert werden können. Diese einmaligen Festlegungen gelten für den gesamten Wertstrom, sodass Energieeinsätze für Elektrizität, Gas, Druckluft und auch andere Ressourceneinsätze wie bspw. Lösemittel (hier: Solvents) eingetragen werden können.

1. Type of resource(s)	
CDE Current	0.43 kgCO2/kwh
CDE Gas	0.18 kgCO2/kwh
CDE Compressed air	0.2 kgCO2/kwh
CDE Solvents	1.22 kgCO2/kwh

Abbildung 6: Eingabe der CDE Umrechnungsfaktoren in VASCO

Die hier einzutragenden Werte sind standortabhängige Umrechnungsfaktoren, die bspw. vom Energiemix des Elektrizitätsanbieters oder der chemischen Zusammensetzung des Lösemittels abhängig sind.

5.4 Darstellung der CO2-Bewertung im Wertstrom

Die CO2-Bewertung der Produktion erfolgt durch Kumulation der direkten und indirekten Energieeinsätze über den gesamten Wertstrom – d.h. für sämtliche Prozesse, Transporte und Läger/Puffer – und anschließender Umrechnung auf den äquivalenten CO2-Wert „CO2-Äq." (CDE) je produziertem Stück. Zu beachten ist, dass aufgrund der Modellierung sämtliche Energieeinsätze von Schlecht-Teilen auf die Gutteile (hier: D_{net}) umgerechnet werden, um der Realität in Form des gesamt erforderlichen Energieeinsatzes zu entsprechen.

KPI | Costs and revenues in value stream | KPI | Energy and CDE [kgCO2] in value stream | KPI | Disposals in

Process | Direct	
1. kWh/ok-part	
Solvents	0 kg/ok-part
Current	10 kWh/ok-part
Gas	0 kWh/ok-part
Compressed air	0 kWh/ok-part
Sum	10 kWh/ok-part
2. Caused CDE	
Solvents	0 kgCO2/ok-part
Current	4.3 kgCO2/ok-part
Gas	0 kgCO2/ok-part
Compressed air	0 kgCO2/ok-part
Sum	4.3 kgCO2/ok-part

Process | Indirect	
1. kWh/ok-part	
Current	2.1 kWh/ok-part
Gas	0.5 kWh/ok-part
Compressed air	0.6 kWh/ok-part
Sum	3.2 kWh/ok-part
2. Caused CDE	
Current	0.903 kgCO2/ok-part
Gas	0.09 kgCO2/ok-part
Compressed air	0.12 kgCO2/ok-part
Sum	1.113 kgCO2/ok-part

Abbildung 7: Ausschnitt der KPI-Übersicht mit Fokus auf die CO2-Bewertung je Gutteil (kumuliert über den gesamten Wertstrom)

Die nachfolgende Abbildung 9 zeigt den ganzheitlich analysierten Wertstrom mit Fokus auf Zeit-, Kosten- und CO2-Bewertung. Mit dieser visuellen Darstellung des Wertstroms – mit aussagekräftigen und allgemein anerkannten Kennzahlen hinterlegt – ist es folglich möglich, nach Verbesserungspotentialen in den Ressourcenverbräuchen gezielt zu suchen und bestmögliche Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten. Darüber hinaus sind mögliche Maßnahmen in einer sicheren Laborsituation sowohl ökologisch als auch ökonomisch auf Knopfdruck bewertbar, um durch eine belastbare Grundlage (Investitions-) Entscheidungen zu unterstützen.

In Abbildung 9 ist die untere Datenlinie die traditionelle Zeitlinie mit Angabe der Reichweiten je Lagerstufe/Puffer im Vergleich zur Bearbeitungszeit der Prozesse. Die obere Datenlinie wurde in der Form noch nie publiziert und repräsentiert die CO2-Bewertung entlang des Wertstroms. Die obere Treppe entspricht dem direkten Energieverbrauch in kWh/Stück, die untere Treppe ist die Summe von direkten und indirekten (d.h. strukturbedingten) Energieverbräuchen je Stück (hier: je Gutteil, das den Prozess verlässt). Die Pfeile entgegen der Materialflussrichtung stehen für die Energieverbräuche im idealtypischen Verwertungskreislauf. Im betrachteten Beispiel werden aufgrund der CO2-verursachenden Ressourcenverbräuche (Elektrizität, Erdgas, Druckluft und Lösemittel 5,458 kg CO2 je Gutteil, das an den Kunden ausgeliefert wird, als CO2-Äquivalent in die Atmosphäre emittiert.

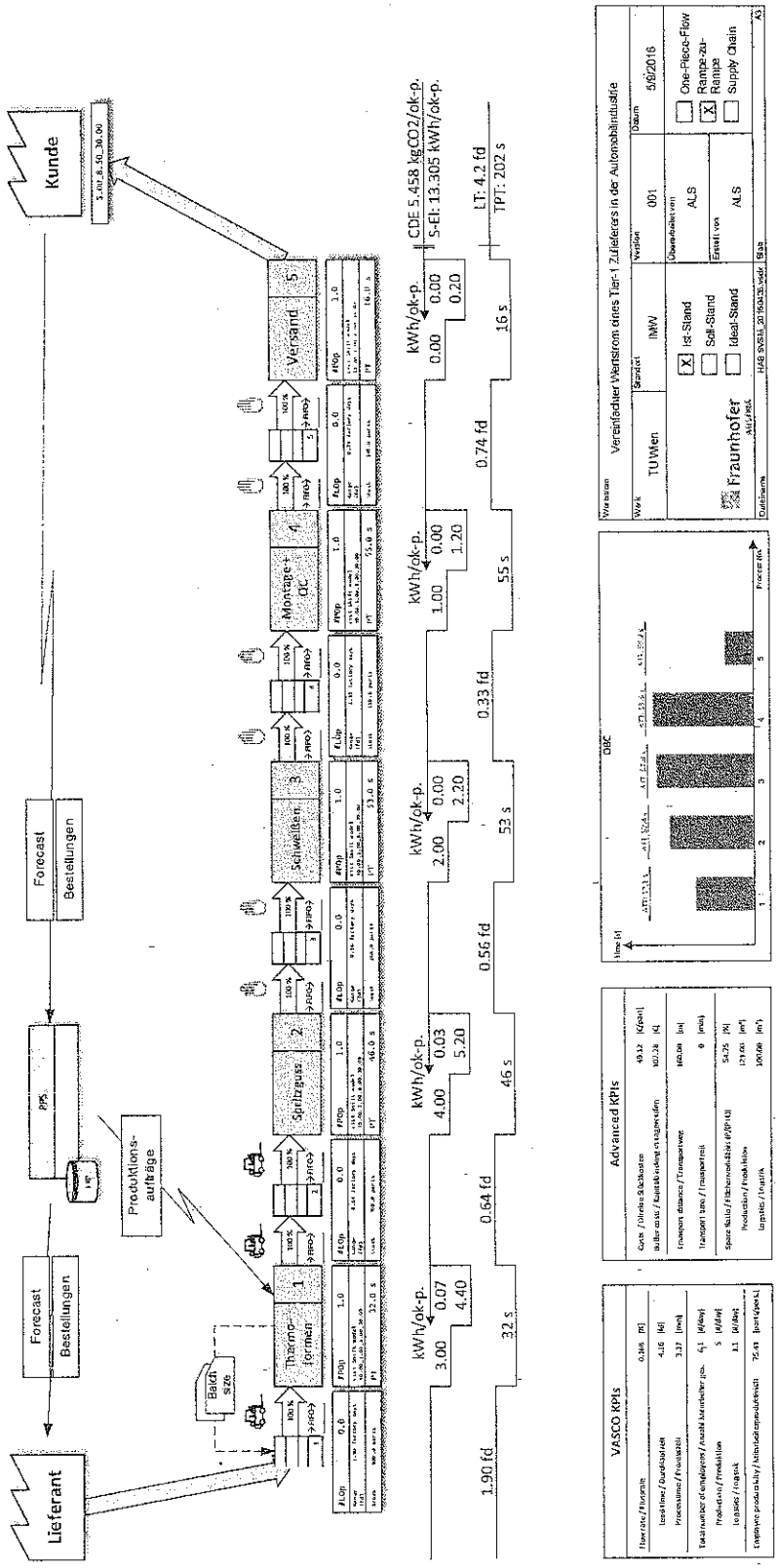


Abbildung 8: Darstellung eines ganzheitlich analysierten Wertstroms in VASCO mit den Datenlinien „CO2" und „Zeit"

6 Zusammenfassung und Ausblick

Der in diesem Beitrag vorgestellte VSM-basierte, IT-gestützte Ansatz zur prozessorientierten Ressourcenverbrauchsrechnung mit Fokus auf CO2-Bewertung ermöglicht es, einerseits die CO2-Äq. in der Produktion sehr detailliert zu erfassen und bewerten und andererseits die größten Ressourcentreiber auf einen Blick zu identifizieren. Somit wird man dem traditionellen VSM-Ansatz gerecht, mittels Bleistift und Papier in sehr kurzer Zeit Verschwendungen zu identifizieren und Maßnahmen zur Verbesserung abzuleiten. Die möglichen Verbesserungsmaßnahmen können per Knopfdruck in Form von verbesserten Kennzahlen aufgrund geringerer Ressourcen-einsätze sowohl ökonomisch als auch ökologisch bewertet werden.

In der nächsten Zukunft liegt das Hauptaugenmerk an der Verbreitung von VASCO und der zugrundeliegenden Modellierung sowohl im universitäten Bereich (Forschung und Lehre) als auch in der industriellen Praxis. Zukünftiger Forschungsbedarf wird vor allem in der Integration weiterer Nachhaltigkeits-Aspekte und in der Erarbeitung von Design-Ansätzen – z.B. IT-gestütztes Wertstromdesign und neuen Gestaltungsrichtlinien – gesehen.

Danksagung

Die Inhalte des vorliegenden Beitrags sind im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprojekts der Institutsbereiche Finanzwirtschaft und Controlling sowie Betriebstechnik und Systemplanung des IMW an der TU Wien mit der Magna International Europe AG und der ehemaligen Magna Interiors-Gruppe erarbeitet worden, wobei unser besonderer Dank den Herren Dr. Herbert Demel, Albert Lidauer, Christoph Bistricky und Johannes Müller für die fortwährend gute Betreuung und Bereitstellung der Daten gilt. Großer Dank gilt auch den Grazer Fraunhofer-Kollegen (v.a. René Berndt, Christian Caldera und Nelson Silva), die gemeinsam mit uns die Umsetzung der Modellierung in VASCO möglich gemacht haben.

Literatur

Berndt, R., Silva, N., Caldera, C., Krispel, U., Eggeling, E., Sunk, A., Edtmayr, T., Sihn, W., Fellner, D.W., 2016.
VASCO - Mastering the Shoals of Value Stream Mapping. Presented at the CONTENT 2016, The Eighth International Conference on Creative Content Technologies, pp. 42–47.

Berndt, R., Sunk, A., 2016.
Value Stream Mapping with VASCO - From Reducing Lead Time to Sustainable Production Management [WWW Document]. URL http://ercim-news.ercim.eu/en105/special/value-stream-mapping-with-vasco-from-reducing-lead-time-to-sustainable-production-management (accessed 4.14.16).

Bevilacqua, M., Ciarapica, F.E., Giacchetta, G., 2007.
Development of a sustainable product lifecycle in manufacturing firms: a case study. Int. J. Prod. Res. 45, 4073–4098.

Carvalho, H., Azevedo, S.G., Machado, V.C., 2010.
Supply chain performance management: lean and green paradigms. Int. J. Bus. Perform. Supply Chain Model. 2, 304.

Dadashzadeh, M.D., Wharton, T.J., 2012.
A Value Stream Approach For Greening The IT Department. Int. J. Manag. Inf. Syst. Online 16, 125.

Díaz-Balteiro, L., Romero, C., 2004.
In search of a natural systems sustainability index. Ecol. Econ. 49

Dou, Y., Sarkis, J., 2010.
A joint location and outsourcing sustainability analysis for a strategic offshoring decision. Int. J. Prod. Res. 48, 567–592.

Edtmayr, T., Sunk, A., Sihn, W., 2016.
An Approach to Integrate Parameters and Indicators of Sustainability Management into Value Stream Mapping. Procedia CIRP, Research and Innovation in Manufacturing: Key Enabling Technologies for the Factories of the Future - Proceedings of the 48th CIRP Conference on Manufacturing Systems 41, 289–294.

Erlach, K., 2010.
Wertstromdesign. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.

Erlach, K., 2009.
Energiewertstrom. Fraunhofer Verlag, Stuttgart.

Faulkner, W., Badurdeen, F., 2014.
Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM): methodology to visualize and assess manufacturing sustainability performance. J. Clean. Prod. 85, 8–18.

Feiz, R., Ammenberg, J., Baas, L., Eklund, M., Helgstrand, A., Marshall, R., 2015.
Improving the CO2 performance of cement, part I: utilizing life-cycle assessment and key performance indicators to assess development within the cement industry. J. Clean. Prod. 98, 272–281.

Gudehus, T., 2012.
Dynamische Disposition. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.

Haag, H., 2013.
Eine Methodik zur modellbasierten Planung und Bewertung der Energieeffizienz in der Produktion, Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung. Fraunhofer Verlag, Stuttgart.

Hopf, H., 2016.
Methodik zur Fabriksystemmodellierung im Kontext von Energie- und Ressourceneffizienz, Research. Springer Vieweg, Wiesbaden.

Hopp, W.J., Spearman, M.L., 2011.
Factory physics, 3. ed., reissued. ed. Waveland Press, Long Grove, Ill.

Jasch, C., 2000.
Environmental performance evaluation and indicators. J. Clean. Prod. 8, 79–88.

Kishita, Y., Ohishi, Y., Uwasu, M., Kuroda, M., Takeda, H., Hara, K., 2016.
Evaluating the life cycle CO2 emissions and costs of thermoelectric generators for passenger automobiles: a scenario analysis. J. Clean. Prod.

Kleindorfer, P.R., Singhal, K., Wassenhove, L.N., 2009.
Sustainable Operations Management. Prod. Oper. Manag. 14, 482–492.

Klevers, T., 2007.
Wertstrom-Mapping und Wertstrom-Design: Verschwendung erkennen - Wertschöpfung steigern. mi-Fachverl, Landsberg am Lech.

Kuriger, G., Huang, Y. & Chen, F., 2011.
A lean sustainable production assessment tool. Madison, Wisconsin, Proceedings of the 44th CIRP Conference on Manufacturing Systems.

Liker, J., 2004.
The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer, 1 edition. ed. McGraw-Hill Education, New York.

Lourenço, E.J., Baptista, A.J., Pereira, J.P., Dias-Ferreira, C., 2013.
Multi-Layer Stream Mapping as a Combined Approach for Industrial Processes Eco-efficiency Assessment, in: Nee, A.Y.C., Song, B., Ong, S.-K. (Eds.), Re-Engineering Manufacturing for Sustainability. Springer Singapore, pp. 427–433.

Mani, M., Madan, J., Lee, J.H., Lyons, K.W., Gupta, S.K., 2014.
Sustainability characterisation for manufacturing processes. Int. J. Prod. Res. 52, 5895–5912.

Martínez-Jurado, P.J., Moyano-Fuentes, J., 2014.
Lean Management, Supply Chain Management and Sustainability: A Literature Review. J. Clean. Prod. 85, 134–150.

Müller, E., Engelmann, J., Löffler, T., Strauch, J., 2009.
Beschreibungsmodelle der Fabrik, in: Energieeffiziente Fabriken planen und betreiben. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 35–66.

Ōno, T., 1988.
Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. Productivity Press.

Paju, M., Heilala, J., Hentula, M., Heikkilä, A., Johansson, B., Leong, S., Lyons, K., 2010.
FRAMEWORK AND INDICATORS FOR A SUSTAINABLE MANUFACTURING MAPPING METHODOLOGY, in: Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference. IEEE, pp. 3411–3422.

Rajaeifar, M.A., Ghobadian, B., Safa, M., Heidari, M.D., 2014.
Energy life-cycle assessment and CO2 emissions analysis of soybean-based biodiesel: a case study. J. Clean. Prod. 66, 233–241.

Rother, M., Shook, J., 2003.
Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate muda. Lean Enterprise Institute, Cambridge.

Rother, M., Shook, J., 2011.
Sehen lernen: mit Wertstromdesign die Wertschöpfung erhöhen und Verschwendung beseitigen, Dt. Ausg., Version 1.4, Oktober 2011. ed, Workbooks für Lean Management. Lean Management Inst, Mühlheim an d. Ruhr.

Seuring, S., Müller, M., 2008.
From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. J. Clean. Prod., Sustainability and Supply Chain Management 16, 1699–1710.

Sihn, W., Sunk, A. Nemeth, T., Kuhlang, P., Matyas, K., 2016.
Produktion und Qualität Organisation, Management, Prozesse. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.

Sunk, A., Edtmayr, T., Sihn, W., 2016.
Ansatz zur Bewertung der Abfallentstehung im Wertstrom, in: Biedermann, H. (Ed.), Industrial Engineering und Management, Techno-ökonomische Forschung und Praxis. Springer Fachmedien Wiesbaden, pp. 267–281.

Venkat, K., Wakeland, W., 2006.
Is Lean Necessarily Green? Proc. 50th Annu. Meet. ISSS - 2006 Sonoma CA USA.

Womack, J.P., Jones, D.T., 2003.
Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation, Rev. and updated, 1. paperback ed. ed. Simon & Schuster, London.

Womack, J.P., Jones, D.T., Roos, D., 1990.
The machine that changed the world: based on the Massachusetts Institute of Technology 5-million dollar 5-year study on the future of the automobile. Rawson Associates, New York.