

Franz Hanus / Gerhard Kormann / Thomas Moser

Autonomisierung von Produktionsprozessen - Theorie, Anwendung und Werkzeuge

112 - Digital Business Transformation

Abstract

Ein wesentlicher Innovationsimpuls bei den Themen Industrie 4.0 und digitale Transformation sind die neuen technischen Möglichkeiten zur Etablierung von autonom gesteuerten Geschäftsprozessen. Die folgende Arbeit beschäftigt sich mit dem Stand der Methoden für Geschäftsprozessmodellierung im Hinblick auf deren Beitrag zur Gestaltung von autonomen Entscheidungsprozessen. Zunächst wurden aus der Literatur Industrie 4.0 Trends und Eigenschaften für Prozesse identifiziert. Als zweiten Schritt erfolgt anhand dieser Kriterien eine systematische Bewertung der ausgewählten Prozessmodellierungswerkzeuge. Dies schließt Erkenntnisse zu limitierenden organisatorischen und technischen Faktoren ein. Das Ergebnis dient als Grundlage für vertiefende empirische Studien zur Umsetzung von autonomen Geschäftsprozessen in der produzierenden Industrie.

Keywords:

Industrie 4.0, Automatisierung, Autonome Geschäftsprozesse, digitale Innovation, digitale Transformation, Internet of Things

1. Einleitung

Im Zentrum der großen Trends wie Industrie 4.0 oder Internet of Things steht die Vision von autonomen Geschäftsprozessen, welche eigenständige Entscheidungen treffen und sich laufend selbst optimieren.

Autonome Prozesse sind deshalb auch ein wesentliches Element von einschlägigen Definitionen: "The Internet of Things" enables objects [to share] information with other objects/members in the network, recognizing events and changes so [as] to react autonomously in an appropriate manner." (IDC (2014) in: European Commission et al., 2015)

Diese Arbeit leistet einen Beitrag, um die Voraussetzung einer Transformation zu autonomen Prozessen in der Wirtschaft besser zu verstehen. Es werden Kriterien für die Eigenschaften von autonomen Geschäftsprozessen identifiziert und nach diesen Kriterien Werkzeuge bezüglich deren Eignung für die Modellierung autonomer Geschäftsprozesse bewertet.

2. Trends der Industrie 4.0

Neue Wege versprechen aktuelle technische Entwicklungen wie Industrie 4.0, flexible Low Cost Automation und die Nutzung von Mobilgeräten und Social Media – auch im Produktionsbereich. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie die Produktionsarbeit der Zukunft aussehen wird. Das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO hat in einer aktuellen Studie (Spath et al., 2013) die folgenden Trends der Industrie 4.0 identifiziert, welche einen großen Einfluss auf die Produktionsarbeit der Zukunft haben werden.

Die Vernetzung von Objekten, Steuerungen und Sensoren mit Anwendern zu einem Internet der Dinge, Daten und Dienste wird eine neue Qualität der Verfügbarkeit von Informationen über die Produktionsabläufe in **Echtzeit** bringen. Die Datenmodelle werden aktueller und das Produktionsgeschehen insgesamt transparenter. Die IT Ansätze zur Steigerung der **Transparenz** des Produktionsgeschehens liegen in einer dezentralen Erfassung und Speicherung von Informationen und deren Verfügbarkeit über Internetprotokolle, wodurch **neue Auswertungen** und eine **höhere Datenqualität** ermöglicht werden (Spath et al., 2012).

Transparenz und hohe Informationsdichte bilden die Grundlage für intelligente Assistenten zur **dezentralen Steuerung** der Produktion in Echtzeit. Dezentrale Steuerungen verfolgen eine lokale Optimierung der Aufgaben und Auftragsreihenfolgen. Sie betrachten, im Gegensatz zur zentralen Planung, nur einen eingegrenzten, überschaubaren Gegenstandsbereich. Sie können daher deren spezifische Randbedingungen besser in den Optimierungszielen berücksichtigen sowie kurzfristig und flexibel auf **wechselnde Anforderungen** reagieren. Ein weiterer, nicht zu unterschätzender Vorteil **dezentraler Planungen** liegt in der Möglichkeit, die ausführende Ebene, sprich die Shopfloor Mitarbeiter, in die Planung einzubeziehen (ten Hompel et al., 2006).

Der größte Umbruch in der Industrie 4.0 wird von den Fähigkeiten Cyber-Physischer Produktionssysteme zur **Selbstorganisation**, zur **Autonomie** und zur **Selbststeuerung** erwartet. Zukünftige, selbstorganisierende und vernetzte Produktionsanlagen erkennen und konfigurieren ihre Komponenten und Werkzeuge eigenständig. Selbststeuernde logistische Prozesse und Produktionsaufträge planen über die gesamte Wertschöpfungskette ihre Bearbeitungsschritte, reservieren die benötigten Materialien und belegen Anlagenkapazitäten. In einem Cyber-Physischen System (CPS) entlasten autonome Agenten die Menschen in einem weit größeren Umfang von Routinetätigkeiten und standardisierten Entscheidungen, wodurch sich aber auch die Frage der Benutzerakzeptanz im Zusammenhang mit der **Nachvollziehbarkeit** des Handelns technischer Systeme stellt (Broy, 2010; Geisberger and Broy, 2012).

Arbeitssoziologische Studien zeigen, dass Anwendungen des Internets der Dinge sich sowohl in Richtung eines **Automatisierungsszenarios** als auch eines **Werkzeugszenarios** entwickeln. In einem Automatisierungsszenario steuert die intelligente Maschine die Tätigkeiten des Menschen. In einem Werkzeugszenario verbleibt die Entscheidung beim Menschen, die IT wirkt hier lediglich assistierend. Beide Szenarien müssen sich nicht zwangsläufig gegenseitig ausschließen. Mitarbeiter werden zukünftig eine Mischung aus beiden Anwendungsformen nutzen. Die Kontrolle von

standardisierten Routineaufgaben wird in Automatisierungsszenarios auf die CPS-Steuerungen übertragen. Dagegen verbleiben komplexe und erfahrungsbasierte Entscheidungen beim Menschen, der für die schnelle und sichere Entscheidungsfindung echtzeitfähige CPS-Assistenten nutzen wird (Windelband, 2014).

3. Prozessmodellierungswerkzeuge

In der Prozessmodellierung werden Werkzeuge zur Pflege, Dokumentation und Visualisierung von Prozessen eingesetzt. Ein wesentlicher Vorteil von Modellierungswerkzeugen besteht im methodischen Erkennen von Verbesserungspotentialen (vgl. Motus, 2008, p. 18) sowie durch die sofortige Sichtbarkeit von Änderungen in der gesamten Dokumentation (vgl. Bobrik, 2008, p. 209). Unterscheiden lassen sich Werkzeuge vor allem durch die verwendete Modellierungssprache. Bekannte Werkzeuge wie IDS Scheer ARIS, MID Innovator, IBM WebSphere Business Modeler und BOC Information Systems ADONIS setzen hauptsächlich die Sprachen EPK (Ereignis-gesteuerte Prozesskette), UML (Unified Modeling Language) und BPMN (Business Process Modeling Notation), u.a. ein (vgl. Bobrik, 2008, p. 209 f).

Im deutschsprachigen Europa (DACH: Deutschland, Österreich, Schweiz) zeigt eine empirische Studie (Befragung von 200 Unternehmen zwischen November 2010 und Februar 2011) der ZHAW bei der Notation von Geschäftsprozessmodellen einen Einsatz von Flussdiagrammen mit 63%, von BPMN mit 49%, von (e)EPK mit 47% und UML mit 29% (vgl. Minonne et al., 2011, p. 30). In dieser Studie ebenfalls angeführte Notationen wie Andere mit 6%, PETRI-Netze mit 3% und Semantisches Objektmodell mit 2% (vgl. Minonne et al., 2011, p. 30), werden in dieser Arbeit aufgrund ihrer geringeren Verbreitung nicht weiter berücksichtigt.

Im Sinne der Themenstellung dieser Arbeit werden die zuvor angeführten vier Notationen mit der weitesten Verbreitung im deutschsprachigen Europa, nachfolgend kurz erläutert.

Flussdiagramme lassen sich wie folgend definieren „A flowchart is a diagram that shows the operations performed in an information processing system and the sequence in which the operations are performed“ (IBM, 1969, p. 1). Die Darstellung erfolgt über Symbole (nach DIN-Norm 66 001 genormt), welche verschiedene Arten von Operationen durch Ablaufflinien miteinander verbinden (vgl. Lackes, 2016). Vorteile können in der leicht verständlichen und transparenten Darstellung von Prozessen, der guten Abgrenzung von Zuständigkeiten für Aktivitäten und in der übersichtlichen Darstellung von bereichsübergreifenden Prozessabfolgen gesehen werden (vgl. DVZ, 2011, p. 35). Die ungezügeltten Verwendungsmöglichkeiten können jedoch eine strukturierte Programmierung behindern (vgl. Lackes, 2016). Ein weiterer Nachteil kann darin bestehen, dass Flussdiagramme für eine detaillierte Modellierung nicht geeignet sind (vgl. DVZ, 2011, p. 35).

Die **BPMN** kann definiert werden als „The Business Process Modeling Notation (BPMN) is an increasingly important industry standard for the graphical representation of business processes“ (Muehlen and Recker, 2008, p. 465). Bei der BPMN-Entwicklung wurden u.a. Diagramme von UML, IDEF, XML, BPSS und EPK berücksichtigt (vgl. White, 2004, p. 9). Gepflegt wird der BPMN-Standard von der Object Management Group (OMG). Diese bietet im WWW unter „omg.org“ vielseitige

Information und Beispiele zur BPMN an. Vorteile der BPMN können in der Transformation des Kontrollflusses (vgl. Barton et al., 2014, p. 19), in der leichten Verständlichkeit (Grundelemente entsprechen den bekannten Flussdiagrammen), guten Übersichtlichkeit sowie in der Unterstützung von mehr als 50 Werkzeugen (vgl. DVZ, 2011, p. 11) gesehen werden. Nachteile können auf fachlicher Ebene bei der Modellierung von Organisationsstrukturen und Verantwortlichkeiten auftreten (vgl. Barton et al., 2014, p. 9). Insbesondere müssen andere Modelle für Organisationen in eigenen Notationen definiert werden (vgl. DVZ, 2011, p. 11).

Eine **EPK** lässt sich nach Hommes (Hommes, 2004, p. 25) definieren als “Event Driven Process Chains are currently widely used to model business processes by means of events and functions, especially in the context of Enterprise Resource Planning (ERP) systems like SAP. The most important tool for modeling EPC’s is the ARIS toolset”. Wie zuvor angeführt stellt einen wesentlichen Diagrammtyp von ARIS die EPK (Englisch EPC) dar. Mit der EPK kann man Ereignisse und Funktionen visualisieren und Daten sowie Organisationseinheiten einzelnen Funktionen zuordnen (vgl. Scheer et al., 2006, p. 234). Informationen und Beispiele zur Anwendung von EPK sind im WWW unter „ariscommunity.com“ verfügbar. Die Vorteile der EPK bestehen in der guten Verständlichkeit, leichten Erlernbarkeit, hohen Flexibilität und Praxisnähe (vgl. Rittgen, 2000, p. 27). Nachteile können durch einen erhöhten Aufwand bei der Transformation in ausführbaren Prozesse (vgl. DVZ, 2011, p. 17) sowie durch mehrdeutige Interpretationsmöglichkeiten (vgl. Rittgen, 2000, p. 27) entstehen.

Die **UML** kann nach Eriksson und Penker (Eriksson and Penker, 2000, p. 3) wie folgend definiert werden “UML has quickly been adopted as the standard modeling language for modeling software systems”. Eingesetzt werden kann die UML zur Modellierung, Visualisierung, Dokumentation und Spezifizierung komplexer Softwaresysteme (vgl. Gronau, 2008, pp. 5–8). “The most important UML diagram for doing business modeling is the activity diagram” (Eriksson and Penker, 2000, p. 4). Dieses Diagramm ermöglicht die sehr detailgenaue Visualisierung von einzelnen Algorithmen oder Prozessen (vgl. Gronau, 2008, pp. 9–12). Vorteile von UML bestehen u.a. in der weiten Verbreitung, der hohen Ausdrucksmächtigkeit, der umfassende Toolunterstützung (vgl. Beeck, 2006, p. 4), der Reduzierung des Programmieraufwandes durch automatische Coderahmenerstellung und in der Exportmöglichkeiten zu Java, C und C# (vgl. DVZ, 2011, p. 26). Nachteile sind u.a. fehlende Regeln zur Modellierung (vgl. Beeck, 2006, p. 5), hoher Einarbeitungsaufwand, erforderliches IT-Wissen, semantische Inkonsistenzen, Mehrdeutigkeiten und geringere Ausrichtung auf die Prozessmodellierung (vgl. DVZ, 2011, p. 25 f).

Wie sich die vier beschriebenen Notationen im Kontext autonomer Geschäftsprozesse eignen, wird im nachfolgenden Kapitel untersucht.

4. Analyse zur Toolunterstützung von autonomen Geschäftsprozessen

Ausgehend von den angeführten Trends in Kapitel 2 sowie den genannten Eigenschaften der beschriebenen Notationen im Kapitel 3 wurde anhand der verwendeten Literatur, eine Analyse der Toolunterstützung zur Modellierung von autonomen Geschäftsprozessen durchgeführt.

Die Ergebnisse dieser Analyse zeigt die nachfolgende Abbildung 4-1.

Abbildung 4-1: Toolunterstützung für die Modellierung autonomer Geschäftsprozesse

Trends und Eigenschaften	Kriterien	ausgewählte Notationen			
		UML	EPK	BPMN	Flussdiagramme
Autonomie	Selbstorganisation	weniger geeignet für Modellierung (fehlende Regeln); Programmierung unterstützt	gut geeignet für Modellierung; Programmierung unterstützt	geeignet für Modellierung; Programmierung unterstützt	weniger geeignet für detaillierte Modellierung; Programmierung kaum unterstützt
	Selbststeuerung				
	Nachvollziehbarkeit				
Dezentrale Steuerung	lokale Optimierung	weniger geeignet für Modellierung (fehlende Regeln); Programmierung unterstützt	geeignet für Modellierung; Programmierung unterstützt	gut geeignet für Modellierung (stringentere Modellierung als EPK) aber dafür höherer Aufwand; Programmierung exakter möglich	weniger geeignet für detaillierte Modellierung; Programmierung kaum unterstützt
	dezentrale Planung				
	flexibel auf wechselnde Anforderungen reagieren				
Transparenz	neue Auswertungen	weniger geeignet für Modellierung (fehlende Regeln); Programmierung unterstützt	gut geeignet für Modellierung; Programmierung unterstützt, aber erhöhter Aufwand erforderlich	geeignet für Modellierung, aber erhöhter Aufwand erforderlich; Programmierung unterstützt	weniger geeignet für detaillierte Modellierung; Programmierung kaum unterstützt
	höhere Datenqualität				
	Echtzeitinformationen				
Mensch in der Produktion	Automatisierungsszenario	weniger geeignet für Modellierung (fehlende Regeln), Unterstützung für Human-Tasks möglich; Programmierung unterstützt	gut geeignet für Modellierung, Unterstützung für Human-Tasks möglich; Programmierung unterstützt, aber erhöhter Aufwand erforderlich	gut geeignet für Modellierung, Unterstützung für Human-Tasks indirekt möglich (erhöhter Aufwand); Programmierung unterstützt	gute geeignet für allgemeine Modellierung (Human-Tasks), weniger geeignet für detaillierte Modellierung; Programmierung kaum unterstützt
	Werkzeugszenario				
	Human-Tasks in der Produktion				
	Umgang mit Routineaufgaben				
	Umgang mit Spezialfällen				
Allgemeine Eigenschaften	benötigte Qualifikation	umfangreicheres IT Wissen	kein IT Wissen	grundlegendes IT Wissen	kein IT Wissen
	subjektive Komplexität	hoch	mittel	hoch	niedrig
	Erweiterbarkeit	mittel	mittel	hoch	niedrig
	Toolunterstützung	weitverbreitet in diversen Modellierungswerkzeugen	weitverbreitet in diversen Modellierungswerkzeugen	spezielle Modellierungswerkzeuge für erweiterte Funktionen erforderl.	verbreitet in diversen Modellierungswerkzeugen
	Übersichtlichkeit	durchschnittlich	gut	gut	gut
	Einarbeitungsaufwand	hoch	niedrig bis mittel	mittel bis hoch	niedrig
	Interpretationsmöglichkeiten	mehrdeutig	mehrdeutig	eindeutig	mehrdeutig

Quelle: eigene Darstellung

5. Zusammenfassung und Ausblick

Diese Arbeit leistet einen Beitrag, die Anforderungen aus der Literatur betreffend der Implementierung autonomer Produktionsprozessen systematisch mit den Möglichkeiten der vorhandenen Prozessmodellierungs-Werkzeuge zu verknüpfen. Der Schwerpunkt der Analyse liegt in der Eignung der Werkzeuge für die Modellierung sowie der Unterstützung für die Programmierung von Prozessen.

Die Analyse zeigt die unterschiedliche Ausprägung der einzelnen Notationselemente zur Unterstützung der Modellierung von autonomen Geschäftsprozessen. Aus der Analyse lässt sich ableiten, dass die Notationen EPK und BPMN am besten zur Modellierung von autonomen Geschäftsprozessen geeignet erscheinen. Aufgrund fehlender Regeln kann man bei der UML ableiten, dass sich diese etwas weniger für die Modellierung eignet, obwohl diese in der programmiernahen Umsetzung auch Vorteile bietet. Das Flussdiagramm zeigt für die allgemeine Modellierung gute Eigenschaften. Im Vergleich zu den anderen Notationen ist diese jedoch für eine detaillierte Modellierung am wenigsten geeignet. Dies kann eine strukturierte Programmierung behindern.

In einem nächsten Schritt untersucht das Autorenteam im Rahmen eines Forschungsprojektes mit österreichischen, produzierenden Leitbetrieben, inwieweit die Kriterien aus der Literatur in der Umsetzungsumgebung relevant sind, wie diese konkret ausgeprägt bzw. welche weiteren Kriterien zu ergänzen sind. Der explorierende und deskriptive Charakter der zu Industrie 4.0 verfügbaren Literatur wird somit durch eine empirische Feldstudie ergänzt.

Das evidenz-basierte Kriterien-Set für autonome Prozesse kann in Folge als Entscheidungshilfe für die Auswahl existierender Prozessmodellierungs-Werkzeugen in der Praxis dienen.

Aus Sicht der Forschung sollen Erkenntnisse zum Thema „Mensch in der Produktion“ gewonnen werden; vor allem betreffend der Faktoren, welche Automatisierungsszenarien (Maschine steuert Mensch) bzw. Werkzeugenszenarien (Mensch steuert Maschine) determinieren und wie sich die beiden Szenarien ergänzen.

Literaturliste/Quellenverzeichnis:

Barton, T., Erdlenbruch, B., Herrmann, F., Müller, C., 2014. AKWI-Tagungsband 2014 - AKWI_TAGUNG_2014_Tagungsband.pdf [WWW Document]. URL http://www.oth-regensburg.de/fileadmin/media/fakultaeten/im/akwi/AKWI_TAGUNG_2014_Tagungsband.pdf#page=12 (accessed 2.16.16).

Beeck, M., 2006. Tagungsband: Dagstuhl-Workshop MBEES: Modellbasierte Entwicklung eingebetteter Systeme II [WWW Document]. URL http://sse-tubs.de/publications/GRS_MBEES_InfoBericht_06.pdf#page=9 (accessed 2.21.16).

Bobrik, R., 2008. Konfigurierbare Visualisierung komplexer Prozessmodelle - PhD_Borbirk_08.pdf [WWW Document]. URL http://dbis.eprints.uni-ulm.de/750/1/PhD_Borbirk_08.pdf (accessed 2.15.16).

Broy, M. (Ed.), 2010. Cyber-Physical Systems. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.

DVZ, 2011. 01_Anlage_Modellierungsnotationen_im_Ueberblick_V03.pdf [WWW Document]. URL http://www.service.m-v.de/cms/DLP_prod/DLP/Servicebereich/Kooperatives_E-Government/_/01_Anlage_Modellierungsnotationen_im_Ueberblick_V03.pdf (accessed 2.15.16).

Eriksson, H.-E., Penker, M., 2000. Business Modeling with UML [WWW Document]. URL <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.587.7655&rep=rep1&type=pdf> (accessed 2.21.16).

European Commission, IDC, TXT, 2015. Final Report: Digital Agenda for Europe - Definition of a Research and Innovation Policy Leveraging Cloud Computing and IoT Combination. European Commission.

Geisberger, E., Broy, M., 2012. agendaCPS: Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. Springer-Verlag.

Gronau, N., 2008. Grundlagen der objektorientierten Geschäftsprozessmodellierung mit der UML [WWW Document]. URL [http://wi.uni-potsdam.de/hp.nsf/0/4E79C06B49CC7827C12574EC00427AA3/\\$File/VL-GPM_UML_4F.pdf](http://wi.uni-potsdam.de/hp.nsf/0/4E79C06B49CC7827C12574EC00427AA3/$File/VL-GPM_UML_4F.pdf) (accessed 2.21.16).

Hommes, L.J., 2004. The evaluation of business process modeling techniques. TU Delft, Delft University of Technology.

IBM, 1969. IBM-FlowchartingTechniques-GC20-8152-1.pdf [WWW Document]. URL <http://www.eah-jena.de/~kleine/history/software/IBM-FlowchartingTechniques-GC20-8152-1.pdf> (accessed 2.16.16).

Lackes, R., 2016. Definition » Programmablaufplan / Flussdiagramm « | Gabler Wirtschaftslexikon [WWW Document]. URL <http://wirtschaftslexikon.gabler.de//Definition/programmablaufplan.html?referenceKeywordName=Flussdiagramm> (accessed 2.15.16).

Minonne, C., Colicchio, C., Litzke, M., Keller, T., 2011. Business Process Management 2011 – Status quo und Zukunft - 3433_Business-Process-Management_OA.pdf [WWW Document]. URL https://digitalcollection.zhaw.ch/bitstream/11475/1026/1/3433_Business-Process-Management_OA.pdf (accessed 2.12.16).

Motus, D., 2008. Referenzmodell für die Montageplanung in der Automobilindustrie [WWW Document]. URL http://www.newbooks-services.de/MediaFiles/Texts/7/9783831608607_Excerpt_001.pdf (accessed 2.6.16).

Muehlen, M., Recker, J., 2008. How Much Language Is Enough? Theoretical and Practical Use of the Business Process Modeling Notation [WWW Document]. URL http://download.springer.com/static/pdf/366/chp%253A10.1007%252F978-3-540-69534-9_35.pdf?originUrl=http%3A%2F%2Flink.springer.com%2Fchapter%2F10.1007%2F978-3-540-69534-9_35&token2=exp=1455617936~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F366%2Fchp%25253A10.1007%25252F978-3-540-69534-9_35.pdf%3ForiginUrl%3Dhttp%253A%252F%252Flink.springer.com%252Fchapter%252F10.1007%252F978-3-540-69534-9_35*~hmac=606985b1fba3b2fe693612fc1222bfd849f2cd04179027bb52cff7156e133469 (accessed 2.16.16).

Rittgen, P., 2000. Quo vadis EPK in ARIS? Ansätze zu syntaktischen Erweiterungen und einer formalen Semantik [WWW Document]. URL http://download.springer.com/static/pdf/6/art%253A10.1007%252F978-3-540-69534-9_35.pdf?originUrl=http%3A%2F%2Flink.springer.com%2Farticle%2F10.1007%2F978-3-540-69534-9_35&token2=exp=1455950195~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F6%2Fart%25253A10.1007%25252F978-3-540-69534-9_35.pdf%3ForiginUrl%3Dhttp%253A%252F%252Flink.springer.com%252Farticle%252F10.1007%252F978-3-540-69534-9_35*~hmac=ef05a298e8eb6133db660186630018810cd06d0248ebf9dd2a866d64cbf878ea (accessed 2.20.16).

Scheer, A.-W., Kruppke, H., Jost, W., Kindermann, H., 2006. AGILITÄT durch ARIS Geschäftsprozessmanagement [WWW Document]. URL http://download.springer.com/static/pdf/770/bok%253A978-3-540-33359-3.pdf?originUrl=http%3A%2F%2Flink.springer.com%2Fbook%2F10.1007%2F3-540-33359-3&token2=exp=1455959927~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F770%2Fbok%25253A978-3-540-33359-3.pdf%3ForiginUrl%3Dhttp%253A%252F%252Flink.springer.com%252Fbook%252F10.1007%252F3-540-33359-3*~hmac=20cbfd02ab9d9ffc5eb73821717e5f2eef4da8e9e47833fb0629a21cfc61567e (accessed 2.20.16).

Spath, D., Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T., Schlund, S., 2013. Produktionsarbeit der Zukunft-Industrie 4.0. Fraunhofer Verlag Stuttgart.

Spath, D., Schlund, S., Gerlach, S., al, et, 2012. Produktionsprozesse im Jahr 2030. IM Fachz. Für Inf. Manag. 27, 50–55.

ten Hompel, M., Libert, S., Sondhof, U., 2006. Dezentrale Steuerung für Materialflusssysteme am Beispiel von Stückgutförder- und sortieranlagen. Logist. J. Referierte Veröff. 2005.

doi:10.2195/LJ_Ref_ten_Hompel_D_042006

White, S.A., 2004. Microsoft Word - BPMN Introductory White Paper.doc - Introduction_to_BPMN.pdf [WWW Document]. URL http://www.ebm.nl/wp-content/uploads/2010/05/Introduction_to_BPMN.pdf (accessed 2.16.16).

Windelband, L., 2014. Zukunft der Facharbeit im Zeitalter „Industrie 4.0 “. J. Tech. Educ. JOTED 2.