



Industry 4.0: A literature review

La industria 4.0: Una revisión de la literatura

Javier Darío Fernández L.

javier.fernandezle@unaula.edu.co

Universidad Autónoma Latinoamericana
Medellín, Antioquia

Artículo de Revisión

Abstract

This article presents a perspective and current state of industry 4.0. It's inserted in ecosystem of innovation and research as a frontier of knowledge at incorporation of new information and communication technologies, in specific, this themes derived from the internet of things and cyber-physical systems in industrial processes [1]. This article allows to answer following questions: What's understood by the industry 4.0, from its conceptualization, development and implementation? Other issues that are addressed: What's the industry environment 4.0 and what are the reasons and motivations for its implementation? What are the basic theories about industry 4.0 and exactly what are they as a conceptual framework for its implementation?

Keywords: Industry 4.0, Industrial Systems, Internet of things.

Resumen

En este trabajo se recoge la perspectiva y estado actual de la industria 4.0, que se inserta en el ecosistema de innovación e investigación como una temática de frontera del conocimiento para la incorporación de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación, específicamente en las temáticas derivadas del internet de las cosas y los sistemas ciberfísicos en los procesos industriales [1]. Además, contiene respuestas a preguntas tales como: ¿Qué se entiende por la industria 4.0 desde su conceptualización, desarrollo e implementación? ¿Cuál es el ambiente de la industria 4.0 y cuáles son las razones y motivaciones para su implementación? ¿Cuáles son las teorías básicas acerca de la industria 4.0 y en qué consisten como marco conceptual para su implementación?

Palabras clave: Industria 4.0, Sistemas industriales, Internet de las Cosas.

© 2017. IAI All rights reserved

1. Introducción

El presente capítulo recoge los desarrollos conceptuales y del estado del arte sobre la industria 4.0, para ellos se hace uso de metodologías de análisis de corte descriptivo [2] con el fin de caracterizar, identificar y describir los entornos de la Industria 4.0, las teorías básicas de la Industria 4.0 y los requerimientos y diferencias de la Industria 4.0 en diferentes regiones en el mundo; dicho análisis de corte descriptivo viene acompañado de una revisión exhaustiva de la literatura reciente con el ánimo de determinar el estado del arte de la temática en el contexto de la investigación; dicha revisión se realizó en bases de datos especializadas de las plataformas *Science Direct* y *Web of Knowledge*, como fuentes secundarias de búsqueda e indagación, en un horizonte de tiempo comprendido entre 2010-2016 y tomando como estrategia de búsqueda los desarrollos, conceptualizaciones y aplicaciones en la temática de la industria 4.0 y referenciando categorías como: industria 4.0, internet de las cosas, sistemas ciber-físicos, entre otras que aparecen en el proceso de indagación y búsqueda. En la segunda sección se muestran los antecedentes teóricos más relevantes, en la tercera sección se muestra la revisión de la literatura sobre el tema y en la cuarta sección se hace una discusión sobre los hallazgos preliminares y conclusiones alcanzadas.

2. Antecedentes conceptuales y de contexto

La cuarta revolución industrial o lo que se ha dado en llamar la Industria 4.0, viene precedida por un cambio no solo tecnológico, sino también en los modelos de desarrollo económico de los países, principalmente, en el caso de las economías emergentes, cuya participación en el mercado, en contraste con las economías tradicionales, ha crecido en el período comprendido entre 1991 a 2011 frente a una disminución en los modelos económicos tradicionales para el mismo período del -21%. En el caso de Asia, por ejemplo, este continente logró cuadruplicar su participación, logrando una participación del 31% en el circuito económico mundial. De esta forma se pasó de una participación cuantificada de 3.45 billones de dólares a 6.58 billones de dólares, con inversiones en el desarrollo industrial, la diferenciación de productos y el logro de ventajas competitivas [3].

Pero estos cambios en el panorama industrial y económico vienen matizados por fenómenos que según [4] obedecen a una alta complejidad en la producción, dado que "No es posible describir todos los productos y procesos de una manera exacta", en tanto esta se manifiesta como menos predecible, altamente flexible y sensible a pequeñas externalidades.

En esta perspectiva surge entonces la pregunta: ¿Por qué es importante investigar sobre la industria 4.0?, un estudio realizado por Bundesvereinigung Logistik, referenciado por [5], mostró que todos los tópicos importantes para 2015 como parte de la transición de los procesos pasaba por la industria 4.0. El 31 % de las industrias ven la importancia de la digitalización como un tópico importante de la industria 4.0 y en su futuro inmediato; de igual forma, en una economía como la alemana, la industria 4.0, refiriendo todos los productos y servicios que necesitan tecnología y comunicación para

2020, tienen un potencial de mercado de 10.9 millones de Euros, con un valor agregado anual de 1.7 %, según lo plantea [6], en referencia a lo planteado en el interrogante inicial.

Según [1] el término industria 4.0 fue creado por el gobierno alemán en la segunda década del siglo 21 y forma parte del proyecto denominado: El futuro de la "Industria 4.0". Este concepto hace parte de la denominada Cuarta Revolución Industrial, en la cual el mundo físico-real y el virtual se unen en un sistema llamado Cyber Physical-System (CPS), que es posible a través de la denominada Internet of Things (IoT).

Así mismo, [1] define el Internet of Things (IoT) como un nuevo concepto complementario de la evolución de las comunicaciones y la informática, aplicadas a los objetos, lo cual permite una mejor interacción entre ellos. Se refiere a una red de cosas diariamente interconectadas a través de Internet. Por otro lado, en [7] se define los Cyber Physical-System (CPS) como la integración de la computación, las redes y los procesos físicos, con computación embebida y monitoreo en redes para el control de los procesos físicos; con ciclos de retroalimentación donde los procesos físicos afectan los computacionales y viceversa. CPS integra los sistemas embebidos en dispositivos que permiten la interacción con las dinámicas de los procesos físicos, proveyendo abstracciones, modelos, diseños y técnicas de análisis para su integración.

Ahora bien, [8], enmarcado en lo anterior, plantean las características de la producción industrial futura, en términos de: una mayor individualización del producto (con una producción masiva altamente flexible), mayor y mejor integración de clientes y proveedores en procesos de negocios con productos y servicios de alta calidad resultado de productos híbridos, la optimización para la estandarización y las arquitecturas de referencia en el control de sistemas complejos, la infraestructura de internet y su cobertura en términos de seguridad para la industria, la organización y diseño de entrenamientos de nuevos puestos de trabajo y el desarrollo de aplicaciones que cumplan las condiciones de estudios legales, las eficiencias de los recursos, la integración vertical bajo valor añadido a la redes, la generalización digital de la cadena de suministros y una integración vertical con los sistemas de producción conectados.

3. Resultados

Como se mencionó antes, se ha realizado una revisión exhaustiva de la literatura reciente con el ánimo de determinar el estado del arte de la temática en el contexto de la investigación; dicha revisión se realizó en bases de datos especializadas de las plataformas *Science Direct* y *Web of Knowledge*, como fuentes secundarias de búsqueda e indagación, en un horizonte de tiempo comprendido entre 2010-2016 y tomando como estrategia de búsqueda los desarrollos, conceptualizaciones y aplicaciones en la temática de la industria 4.0 y referenciando categorías como: industria 4.0, internet de las cosas, sistemas ciber-físicos, entre otras que aparecen en el proceso de indagación y búsqueda. En este sentido, a continuación, se describen los hallazgos.

[9] habla de las tres primeras revoluciones industriales en términos de: La primera revolución industrial alrededor de 1750 con la máquina de vapor y los motores de combustión. La segunda revolución industrial caracterizada por la división del trabajo y la producción en serie con ayuda de la energía eléctrica (Taylor, Ford) y la tercera revolución industrial a inicios de los 60's con el desarrollo de la electrónica y las TIC'S, tal como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Desarrollos de la industria

En esta perspectiva [9, 10], plantean la importancia de la industria en la economía en términos de: productividad, innovación y exportación, adicional a lo propuesto por [9] y [11] sobre los cambios en los factores de producción (energía, materiales, conocimiento y

capital); en esta misma perspectiva [9, 12] abordan el problema de la complejidad en la producción. Según estos, por ejemplo, BMW ofrece 10^{20} , 100.000.000.000.000.000.000 o 100 quintillones de maneras teóricamente posibles de configuraciones o combinaciones de nuevos carros.

La complejidad definida a través del número de elementos de un sistema y sus interrelaciones. No es posible describir todos los productos y procesos exactamente. Dado que desde 1850 se asiste a una relación exponencial entre la variedad de los productos y el volumen de productos por variedad. Analizan factores como: la eficiencia, la diversidad, la demanda y la capacidad de entregas, el incremento de la disponibilidad, la elasticidad del precio y la variabilidad en la producción. Finalmente, [13] habla de la fase de transición a la cuarta revolución industrial con desarrollos en las redes de comunicaciones, la optimización de sistemas y bases de datos, el incremento de la productividad, la reducción de costos y la digitalización, el control descentralizado, el uso del internet de las cosas y los servicios. En la Tabla 1 se resumen los principales aportes de la industria 4.0 desde la perspectiva de su conceptualización.

Tabla 1. Antecedentes a la industria 4.0 desde su conceptualización

Autor	Aporte
[9]	Habla de las tres primeras revoluciones industriales en términos de: La primera revolución industrial alrededor de 1750 con la máquina de vapor y los motores de combustión. La segunda revolución industrial caracterizada por la división del trabajo y la producción en serie con ayuda de la energía eléctrica (Taylor, Ford). La tercera revolución industrial a inicios de los 60's con el desarrollo de la electrónica y las TIC'S.
[9, 10]	Plantean la importancia de la industria en la economía en términos de: productividad, innovación y exportación.
[9, 11]	Discuten sobre los cambios en los factores de producción (energía, materiales, conocimiento y capital).
[9, 12]	Aborda el problema de la complejidad en la producción. Por ejemplo, BMW ofrece 10^{20} , 100.000.000.000.000.000.000 o 100 quintillones de maneras teóricamente posibles de configuraciones o combinaciones de nuevos carros. La complejidad definida a través del número de elementos de un sistema y sus interrelaciones. No es posible describir todos los productos y procesos exactamente. Desde 1850 se asiste a una relación exponencial entre la variedad de los productos y el volumen de productos por variedad. Analizan factores como: la eficiencia, la diversidad, la demanda y la capacidad de entregas, el incremento de la disponibilidad, la elasticidad del precio y la variabilidad.
[13]	Habla de la fase de transición a la cuarta revolución industrial con desarrollos en las redes de comunicaciones, la optimización de sistemas y bases de datos, el incremento de la productividad, la reducción de costos y la digitalización, el control descentralizado, el uso del internet de las cosas y los servicios.

Por otro lado, [14] Plantean la discusión sobre tres principales grupos referidos a los estudios sobre la industria 4.0: la individualización de la producción (personalización masiva, modularización, sistemas de manufactura flexible y reconfigurable, el control distribuido, la optimización en sí misma, la manufactura rápida y la computación en la nube); las redes colaborativas y la integración horizontal (manufactura distribuida, flexibilidad en la cadena de suministro, visibilidad de la cadena de suministro, internet de las cosas y servicios) y la integración digital (virtualización de la cadena de procesos, trazabilidad de datos individualizados, sistemas operativos en tiempo real, simulación y modelamiento de productos y procesos, planeamiento simultaneo de productos y procesos productivos); mientras [15] hablan sobre los conductores de la industria 4.0 en términos del desarrollo industrial: el uso de los sistemas productivos embebidos inteligentes, los servicios móviles y la computación ubicua; el uso de internet como una Web de negocios y el uso de la semántica Web y los métodos de

la Web 2.0. A partir de los estudios adelantados por [16] quienes discuten sobre las leyes de Moore y Metcalfe, la primera basada en la observación empírica sobre la densidad de los componentes y los cambios en los circuitos integrados en los últimos 40 años y su impacto en la industria 4.0. Y la segunda la cual dice que los beneficios de sistemas de comunicación crecen exponencialmente con el crecimiento de sus participantes.

Y, finalmente, [17] quienes hablan sobre los avances en la implementación y la omisión de los riesgos en la industria 4.0, cambios en términos de seguridad en TI [18], altos costos de inversión [19, 20], preservación de secretos de la compañía [21], esperas en las soluciones técnicas, quiebres en las estructuras estables y en los procesos, administración de la complejidad, la unificación semántica en la comunicación entre maquinas; los estándares [22], las inseguridades legales [23] y las habilidades inadecuadas de los empleados [24]. En la Tabla 2 se resumen los principales aportes de la industria 4.0 desde la perspectiva de su fundamentación.

Tabla 2. Antecedentes a la industria 4.0 desde su fundamentación

Autor	Aporte
[14]	Plantean la discusión sobre tres principales grupos referidos a los estudios sobre la industria 4.0: la individualización de la producción (personalización masiva, modularización, sistemas de manufactura flexible y reconfigurable, el control distribuido, la optimización en sí misma, la manufactura rápida y la computación en la nube); las redes colaborativas y la integración horizontal (manufactura distribuida, flexibilidad en la cadena de suministro, visibilidad de la cadena de suministro, internet de las cosas y servicios) y la integración digital (virtualización de la cadena de procesos, trazabilidad de datos individualizados, sistemas operativos en tiempo real, simulación y modelamiento de productos y procesos, planeamiento simultáneo de productos y procesos productivos).
[15]	Hablan sobre los conductores de la industria 4.0 en términos del desarrollo industrial: el uso de los sistemas productivos embebidos inteligentes, los servicios móviles y la computación ubicua; el uso de internet como una Web de negocios y el uso de la semántica Web y los métodos de la Web 2.0.
[16]	Discuten sobre las leyes de Moore y Metcalfe. Ley de Moore basada en la observación empírica sobre la densidad de los componentes y los cambios en los circuitos integrados en los últimos 40 años y su impacto en la industria 4.0. La ley de Metcalfe la cual dice que los beneficios de sistemas de comunicación crecen exponencialmente con el crecimiento de sus participantes.
[17]	Hablan sobre los avances en la implementación y la omisión de los riesgos en la industria 4.0, cambios en términos de seguridad en TI [18], altos costos de inversión [19, 20], preservación de secretos de la compañía [21], esperas en las soluciones técnicas, quiebres en las estructuras estables y en los procesos, administración de la complejidad, la unificación semántica en la comunicación entre maquinas; los estándares [22], las inseguridades legales [23] y las habilidades inadecuadas de los empleados [24].

También se encuentran los trabajos de [25, 26] quienes plantean los desarrollos de la industria 4.0 a partir de los avances en la Manufactura Integrada por Computador; los trabajos de [27-29] quienes hablan sobre los desarrollos en términos de los sistemas Lean; los trabajos de [30] quienes discuten sobre los desarrollos en términos tecnológicos: Internet de las cosas [31, 32], Auto-ID Sistemas de identificación automático [33], RFDI [34] y [35], Sistemas embebidos [36], redes inalámbricas [37-39]. Así como el desarrollo de la comunicación industrial [40], [41] y las técnicas de control como Ethernet, OPC UA [42] y Soft-PLC [43, 44]; los trabajos de [45] quienes hablan sobre los contenidos de la industria 4.0 en la producción: los productos inteligentes [46], la maquina inteligente –planeación,

ensamblaje, lanzamiento, operación y reconfiguración [47] y los operadores asistentes [45]. También están los trabajos de [48], quienes plantean la automatización de la producción definida como la tecnología referida a la aplicación de sistemas basados en computación, mecánicos y electrónicos para la operación y el control de la producción [49-54] y los sistemas ciber-físicos [7, 55-60]; los trabajos de [61] quienes hablan de la integración horizontal y vertical y su integración con la cadena de valor. Así como los trabajos de [62] quienes plantean la seguridad en la industria 4.0 y los trabajos de [63] quienes hablan de la interacción hombre-máquina [64]. En la Tabla 3 se resumen los principales aportes de la industria 4.0 desde la perspectiva de sus desarrollos.

Tabla 3. Antecedentes a la industria 4.0 desde sus desarrollos

Autor	Aporte
[25, 26]	Plantean los desarrollos de la industria 4.0 a partir de los avances en la Manufactura Integrada por Computador.
[27-29]	Hablan sobre los desarrollos en términos de los sistemas Lean.
[30]	Discuten sobre los desarrollos en términos tecnológicos: Internet de las cosas [31, 32], Auto-ID Sistemas de identificación automático [33], RFDI [34, 35], Sistemas embebidos [36], redes inalámbricas [37-39]. Así como el desarrollo de la comunicación industrial [40, 41] y las técnicas de control como Ethernet, OPC UA [42] y Soft-PLC [43, 44].
[45]	Hablan sobre los contenidos de la industria 4.0 en la producción: los productos inteligentes [46], la maquina inteligente –planeación, ensamblaje, lanzamiento, operación y reconfiguración [47] y los operadores asistentes [45].
[48]	Plantean la automatización de la producción definida como la tecnología referida a la aplicación de sistemas basados en computación, mecánicos y electrónicos para la operación y el control de la producción [49-54] y los sistemas ciber-físicos [7, 55-60].
[61]	Hablan de la integración horizontal y vertical y su integración con la cadena de valor.
[62]	Plantean la seguridad en la industria 4.0
[63]	Hablan de la interacción hombre-máquina [64].

4. Discusión y conclusiones

El termino industria 4.0 o industria conectada 4.0, hace referencia a la evolución actual de los sistemas, maquinaria, tecnologías y procesos utilizados en el sector industrial mediante el uso de las nuevas tecnologías: sensores, internet, comunicación en tiempo real entre las maquinas, fabricación aditiva, etc. Es la forma de llamar al fenómeno de transformación digital aplicando a industrias de producción. La industria 4.0 consiste en la digitalización de los procesos productivos en las fábricas mediante sensores y sistemas de información para transformar los procesos productivos y hacerlos más eficientes. El objetivo de la industria 4.0, es un ambicioso proyecto de alta tecnología, el cual es promover la automatización de la manufactura. Con dicha automatización, el gobierno sería capaz de crear fabricas inteligentes (Smart Manufacturing) caracterizadas por

una intensa capacidad de adaptación, alta eficiencia en el uso de los recursos y buena ergonomía, además de la integración de clientes y aliados empresariales a procesos comerciales y de valor.

El desafío para esta nueva revolución industrial será entonces el desarrollo de software, sistemas de análisis masivo de datos y su almacenamiento, la incorporación de electrónica a los elementos que interactúan en los procesos productivos y en los productos derivados de ellos, la convivencia del hombre con la máquina y la disponibilidad de información para una mejor y más efectiva toma de decisiones.

La Industria 4.0 también pretende responder a las problemáticas actuales tanto en cuanto al ahorro de energía como en cuanto a la gestión de recursos naturales y humanos. Con un sistema organizado sobre la base de una red de comunicaciones y de intercambio

instantáneo y permanente de información, se estará mucho mejor preparado para hacer que esta gestión sea mejor y más eficaz, permitiendo mejoras y, posiblemente, ganancias en productividad y en economía de recursos.

Finalmente, Industry 4.0 como tal, es un concepto de una gran complejidad, el cual no es muy conocido en el contexto de las Pequeñas y Medianas Empresas; en este sentido, solo algunos tópicos relacionados con el Internet de las Cosas o los Sistemas de Manufactura CIM o CAD han sido reconocidos por expertos en el medio; lo cual no depende ni del tamaño de la compañía, ni del rango de operación, ni del tipo de producción. Se visualiza en el contexto que solo se tiene un conocimiento del tema a nivel de los mandos medios y directivos en departamentos administrativos y de Investigación y desarrollo que interactúan con las nuevas tecnologías.

Si bien la revisión de la literatura ha dado cuenta de múltiples desarrollos en la temática referida sobre la Industria 4.0 y su aporte para el desarrollo de la economía y para la industria en general; se evidencia una carencia en términos de propuestas metodológicas que aporten a la generación de estrategias de implementación de la Industria 4.0 en el contexto local, regional y nacional; reconociendo aportes como los de [65] en términos de algunas recomendaciones o pasos para la implementación de la Industria 4.0.

Ahora bien, se reconoce como entre los obstáculos para la implementación de la Industria 4.0, se evidencian: la falta de conectividad de banda ancha, la formación del personal altamente cualificado, la cultura del cambio y el retorno de la inversión (ROI). Así mismo, dada la legislación actual, los riesgos de inversión son altos a nivel tecnológico, el nivel de cualificación del personal y la cultura organizacional limitan la incorporación de la Industria 4.0 en los contextos empresariales.

En este sentido, se requiere un programa Marco de Industria 4.0 en el país que promueva la incorporación de la tecnología en procura de ventajas competitivas, de desarrollo e innovación desde las Pymes hacia la gran industria, que inicie con la formación y la fundamentación, el estudio de pequeños ejercicios pilotos y la generación de estrategias macro que posibiliten el acceso del país al desarrollo internacional.

5. Trabajos futuros

- Implementación de tecnologías como SyncBox App, un grupo de soluciones enfocadas en diferentes áreas organizacionales, funciona como analítica de datos complejos y procesos para ayudar en la toma de decisiones en tiempo real.
- Desarrollo de metodologías y modelos de analítica de datos en el marco de la implementación de soluciones desde la Industria 4.0 para empresas de producción, logística y servicios, con Big Data, Internet de las cosas, Computación en la nube, etc.
- Escalando desarrollos propios en las áreas de producción y logística como: MOCAFI-WEB.
- Optimización del diseño de componentes de manufactura en ambientes distribuidos.
- VPMP (Virtual Plant Monitoring Portal)

- Metodología para trazabilidad de análisis e inteligencia de procesos orientados al desarrollo de sistemas de información.
- Implementar un sistema inteligente para la toma de decisiones soportado en un ambiente tipo workflow y en sistemas expertos, que permitan optimizar la toma de decisiones a nivel de producción en la compañía.

Referencias

- [1] Molano, A. (2014). *Internet de las cosas: Concepto y ecosistema*. Colombia Digital.
- [2] Shuttleworth, M. (2008). *Diseño de Investigación Descriptiva*. Explorable.com.
- [3] Blanchet, M. et al. (2014). *Industry 4.0 - The new industrial revolution How Europe will succeed*. Roland Berger Strategy Consultants.
- [4] Bauernhansl, T. (2014). *Die vierte industrielle Revolution - Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma*. In *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik* (pp. 5– 35).
- [5] Statista GmbH (2015). *Wichtigste Themen der Logistik in 2015? Umfrage*.
- [6] Pütter, C. (2014). *Wachsende Bedeutung: Mehr Geld für Industrie 4.0*. Handelsblatt.
- [7] Asare, P. et al. (2012). *Cyber-Physical Systems - a Concept Map*. Online [May 2016].
- [8] Bundesministerium für Bildung und Forschung. (2014). *Die neue Hightech-Strategie Innovationen für Deutschland*. Das Wichtigste in Kürz.
- [9] Bauernhansl, T. (2014). *Die vierte industrielle Revolution - Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma*. In *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik* (pp. 5–35).
- [10] Manyika, J. et al. (2012). *Manufacturing the future: The next era of global growth and innovation*. McKinsey Global Institute.
- [11] Andelfinger, V. & Hänisch, T. (2015). *Internet der Dinge*. In Andelfinger, V. & Hänisch, T. (Eds.), Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- [12] Danne, C. (2012). *Auswirkungen von Komplexität in Produktionssystemen insb. auf das Bestandsmanagement*. Heinz Nixdorf Institut.
- [13] Venturelli, M. (2014). *Industria 4.0*. Online [Jun 2016].
- [14] Brettel, M. et al. (2014). *How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective*. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial and Mechatronics Engineering* 8(1), pp. 37–44.
- [15] Geisberger, E. & Broy, M. (2012). *Agenda CPS - Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems*. Berlin: Acatech Studie.
- [16] Thompson, S. & Parthasarathy, S. (2006). *Moore's law: The future of Si microelectronics*. *Materials Today* 9(6), pp. 20–25.
- [17] Kelkar, O., Heger, R. & Dao, D. (2014). *Studie Industrie 4.0 – Eine Standortbestimmung der Automobil- und Fertigungsindustrie*. MHP.
- [18] Wirnsperger, P. (2015). *Abwarten ist keine Option - Cyber Security in der Industrie 4.0*. Deloitte.
- [19] Koch, V. et al. (2014). *Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution*. Kontaktinformationen.
- [20] Wischmann, S., Wangler, L. & Botthof, A. (2015). *Industry 4.0 - Volks- und betriebswirtschaftliche Faktoren für den Standort Deutschland - Eine Studie im Rahmen der Begleitforschung zum Technologieprogramm AUTONOMIK für Industrie 4.0*. Berlin: Zentraler.
- [21] Berwanger, J. et al. (2013). *Stichwort: Betriebs- und*

- Geschäftsgeheimnis. Berlin: Springer Gabler Verlag.
- [22] DKE & DIN (2016). *German Standardization Roadmap - Industry 4.0*. Deutsche Kommission Elektrotechnik and Deutsches Institut für Normung.
- [23] Plöger, I. et al. (2015). *Industrie - 4.0 Rechtliche Herausforderungen der Digitalisierung*. Berlin: BDI.
- [24] Koch, V. et al. (2014). *Industry 4.0 - Opportunities and challenges of the industrial internet*. Price Waterhouse Coopers.
- [25] Soder, J. (2014). *Use Case Production: Von CIM über Lean Production zu Industrie 4.0*. Berlin: Springer.
- [26] Westkämper, E. et al. (2013). *Digitale Produktion*. Berlin: Springer.
- [27] Syska, A. (2006). *Produktionsmanagement - Das A — Z wichtiger Methoden und Konzepte für die Produktion von heute*. Berlin: Springer.
- [28] Mählick, H. & Panskus, G. (1993). *Herausforderung Lean Production: Möglichkeiten zur wettbewerbsgerechten Erneuerung von Unternehmen*. VDI-Verlag.
- [29] Soder, J. (2014). *Use Case Production: Von CIM über Lean Production zu Industrie 4.0*. Berlin: Springer.
- [30] Schlick, J. et al. (2014). *Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung*. In *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik* (pp. 57–84).
- [31] Andelfinger, V. & Hänisch, T. (2015). *Grundlagen: Das Internet der Dinge*. In Andelfinger, V. & Hänisch, T. (Eds.), *Internet der Dinge*. Wiesbaden: Springer.
- [32] Paul, F. (2013). *Cisco Says Its "Internet of Everything" Is Worth \$14.4 Trillion. Really?* Online [Sep 2016].
- [33] Sarma, S., Brock, D. & Ashton, K. (2000). *The networked physical world*. Proceedings The Second IEEE Workshop on Internet Applications. San Jose, USA.
- [34] Sarma, S. (2001). *Towards the 5cTag*. MIT.
- [35] McFarlane, D. et al. (2003). *Auto ID systems and intelligent manufacturing control*. Engineering Applications of Artificial Intelligence 16(4), pp. 365–376.
- [36] Lange, W., Bogdan, M. & Schweizer, T. (2015). *Eingebettete Systeme: Entwurf, Modellierung und Synthese*. Germany: Walter de Gruyter GmbH & Co KG.
- [37] Bach, T. (2008). *DSL versus Kabel: Informationsexternalitäten als Determinantes von*. Online [Jul 2016].
- [38] *Pfadabhängigkeit und Wechselkosten bei der Adoption von Breitband-Technologien*. GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden.
- [39] International Telecommunication Union (2003). *Birth of Broadband - Frequently Asked Questions*. Online [Jul 2016].
- [40] *Elektronik Kompendium (2016). Grundlagen Mobilfunk (GSM UMTS 2G 3G 4G)*. Online [Jun 2016].
- [41] Kriesel, W. et al. (1990). *Feldbus als Mehrebenenkonzept*. Messen, steuern, regeln 33, pp. 150-153.
- [42] Schnell, G. & Wiedemann, B. (2008). *Bussysteme in der Automatisierung - und Prozesstechnik*. Berlin: Vieweg+Teubner.
- [43] Schumacher, W. et al. (2006). *Industrielle Kommunikation mit Feldbussen*. Technische Universität Braunschweig.
- [44] Bayer, M. (2009). *Soft-SPS Augsburg*. Online [Jul 2016].
- [45] Kaftan, J. (2016). *SPS-Grundkurs mit SIMATIC S7*. Germany: Vogel Business Media.
- [46] Schlick, J. et al. (2014). *Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung*. Berlin: Springer.
- [47] Stephan, P. et al. (2009). *Productmediated communication through digital object memories in heterogeneous value chains*. In 8th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (pp. 199–207).
- [48] Ollinger, L. & Zühlke, D. (2013). *An integrated engineering concept for the model-based development of service-oriented control procedures*. IFAC Proceedings Volumes (pp. 1441–1446).
- [49] Schuh, G. et al. (2014). *Steigerung der Kollaborationsproduktivität durch cyber-physische Systeme*. Berlin: Springer.
- [50] O'Sullivan, D. (2009). *Industrial Automation*. National University of Ireland Galway.
- [51] Büttner, K. & Brück, U. (2014). *Use Case Industrie 4.0-Fertigung im Siemens Elektronikwerk Amberg*. Berlin: Springer.
- [52] Hoppe, G. (2014). *High-Performance Automation verbindet IT und Produktion*. Berlin: Springer.
- [53] Kusiak, A. & Smith, M. (2007). *Data mining in design of products and production systems*. Annual Reviews in Control 31(1), pp. 147–156.
- [54] Hori, S. et al. (2002). *Applying data mining to a field quality watchdog task*. Electrical Engineering in Japan 140(2), pp. 18–25.
- [55] Verl, A. & Lechler, A. (2014). *Steuerung aus der Cloud*. Berlin: Springer.
- [56] Wiener, N. (1948). *Cybernetics or control and communication in the animal and the machine*. MIT University Press.
- [57] Lee, E. & Seshia, S. (2015). *Introduction to Embedded Systems -- A Cyber-Physical Systems Approach*. Berkeley.
- [58] European Commission (2015). *System-of-Systems*. Online [Jul 2016].
- [59] Lee, J., Bagheri, B. & Kao, H. (2015). *A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0- based manufacturing systems*. Manufacturing Letters 3, pp. 18–23.
- [60] Laka, J. (2010). *Sistemas Ciber-Fisicos*. Online [Aug 2016].
- [61] Laudon, K., Laudon, J. & Schoder, D. (2010). *Wirtschaftsinformatik - Eine Einführung*. München: Pearson Studium.
- [62] Kempermann, H. & Lichtblau, K. (2014). *Dienstleistungspotenziale im Rahmen von Industrie 4.0*. Vereinigung der Bayrischen Wirtschaft e.V.
- [63] Fallenbeck, N. & Eckert, C. (2014). *IT-Sicherheit und Cloud Computing*. München: Springer.
- [64] Pantförder, D., Vogel-Heuser, B. & Schweizer, K. (2009). *Benefit and Evaluation of Interactive 3D Process Data Visualization for the Presentation of Complex Problems*. Proceedings of the 13th International Conference on Human-Computer Interaction (pp. 869–878).
- [65] Mayer, F. & Pantförder, D. (2014). *Unterstützung des Menschen in Cyber-Physical-Production-Systems*. Berlin: Springer.
- [66] Bildstein, A. & Seidelmann, J. (2014). *Industrie 4.0-Readiness: Migration zur Industrie 4.0- Fertigung*. Berlin: Springer.