



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

Diplomarbeit

Anwendungsmöglichkeiten des Programms *Industrie 4.0* in der Logistik der Automobilindustrie

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl. Wirt.-Ing. Prof. eh. Dr. h.c.
Wilfried Sihm**

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und
Systemplanung)

Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Tanja Nemeth

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und
Systemplanung, Fraunhofer Austria Research GmbH)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Simina-loana Poinar

Matr.Nr. 1429800

Oradea

Romania

Wien, im Juni 2015

Simina-loana Poinar



UNIVERSITÄT "POLITEHNICA" BUKAREST

FAKULTÄT FÜR
INGENIEURWISSENSCHAFTEN

IN FREMDSPRACHEN

Geschäfts- und Industrieverwaltung



Anwendungsmöglichkeiten des Programms *Industrie 4.0* in der Logistik der Automobilindustrie

Wissenschaftliche Betreuer:

Prof.Univ.Dr.Ing. Constantin Anton Micu

Conf.Dr.Ing. Cristian Dragomirescu

Conf.Dr.Ing. Sorin Kostrachievici



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Vienna University of Technology

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im Juni 2015

Simina-Ioana Poinar

Danksagung

an alle, die mich während der Anfertigung dieser Diplomarbeit unterstützt und motiviert haben.

Ganz besonders gilt dieser Dank Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl. Wirt.-Ing. Prof. eh.Dr. h.c. Wilfried Sihm, Herrn Prof.Univ.Dr.Ing. Constantin Anton Micu, Herrn Conf.Dr.Ing. Cristian Dragomirescu und Herrn Conf.Dr.Ing. Sorin Kostrachievici, die mich und meine Arbeit betreut haben. Sie haben mir nicht nur immer wieder durch kritisches Hinterfragen wertvolle Hinweise gegeben, sondern haben durch ihre moralische Unterstützung und kontinuierliche Motivation zur Vollendung dieser Arbeit beigetragen; sie haben mich dazu gebracht, über meine Grenzen hinaus zu denken. Vielen Dank für die entgegengebrachte Geduld und Mühe!

Zusätzlich, gilt mein Dank Frau Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Tanja Nemeth, welche in zahlreichen Stunden Korrektur gelesen hat. Sie wies auf Schwächen hin und konnte immer wieder zeigen, wo noch Erklärungsbedarf bestand.

Nicht zuletzt gebührt meinen Eltern Dank, ohne die diese ganze Diplomarbeit schon im Vorhinein niemals zustande gekommen wäre.

Kurzfassung

Das Programm *Industrie 4.0* mit seinen Anwendungsmöglichkeiten lernte die Autorin erstmals bei den Vorträgen von Prof. Constantin Anton Micu kennen, der es so interessant vorgestellt hatte, dass die Neugier geweckt wurde. Die Autorin nahm die Gelegenheit wahr, eine Diplomarbeit in einem anderen Land zu schreiben, und stellte sich der Herausforderung, einen logistischen Prozess in der Automobilindustrie zu beschreiben und die Anwendungsmöglichkeiten des Programms *Industrie 4.0* hervorzuheben sowie zu einem besseren Verständnis seiner Zielsetzung beizutragen.

Die Erwartungen der Wissenschaftler an das Programm *Industrie 4.0* sind sehr hoch, sodass die Ergebnisse in der Umsetzung wahrscheinlich hinter diesen Erwartungen bleiben werden. Es müssen erst noch logistische Prozesse entwickelt werden, damit eine Dezentralisierung ermöglicht wird, die für eine Automatisierung des gesamten Systems erforderlich ist.

Diese Diplomarbeit stellt das Programm *Industrie 4.0* sowie die Logistik in der Automobilindustrie vor und versucht, ein Modell zu entwerfen, das die Ideen des Programms *Industrie 4.0* berücksichtigt. Die Szenarien im Praxisteil konzentrieren sich auf Zuführungsprinzipien. Diese sind deswegen als Mikro-Modell der Logistikprozesse gewählt, um zu zeigen, wie die Interkonnektivität und Sensorik für die Entwicklung in diesem Industriebereich hilfreich sein kann. Der aktuelle Zustand der Logistikprozesse wird mit Hilfe von zwei Fallbeispielen dargestellt.

Heute beruhen die Zuführungsprinzipien auf der Interaktion und auf Entscheidungen von Menschen, was eine Fehlerquelle darstellt. Auch das Tracking wird in einigen Fällen noch mit Hilfe der Menschen vollzogen. In anderen Fällen, wie im zweiten Szenario zu sehen ist, wird sowohl das Tracking als auch das Tracing der Komponenten mit Hilfe von RFID-Systemen („Radio Frequency Identification“) gemacht, die den Materialfluss optimieren. Allerdings sind die Technologien noch zu verbessern und selbstverständlich muss investiert werden, um die Entwicklung der Logistik-Systeme voranzutreiben. Letztendlich werden die Ideen dieses Programms jedoch zur 4. industriellen Revolution führen.

Um die Anwendungsmöglichkeiten auf die Logistik der Automobilindustrie besser darzustellen, werden im letzten Kapitel der Diplomarbeit, ein paar Pilotprojekte vorgestellt. Diese Projekte, die zum Teil schon implementiert sind, basieren auf Ideen der Automobilhersteller, im Hinblick darauf, wie das Programm *Industrie 4.0* die Automobilindustrie beeinflussen kann. Auch die SWOT-Analyse wird zu einem besseren Verständnis beitragen, wie die Anwendungen des Programms *Industrie 4.0* die Automobilindustrie verändern wird.

Abstract

The subject of Industry 4.0 was first introduced to the author at the lectures of prof. Constantin Anton Micu, who described the idea of this program in a manner that aroused curiosity. As the author accepted the challenge, but also the opportunity of writing a master thesis in another country, it was decided that this challenging topic to be the subject of the thesis. The idea was to track a logistical process, hoping that it will highlight the applications of the ideas of program Industry 4.0 and will lead to a better understanding of what the aim of this program is. The expectations of the scientist towards the Industry 4.0 are high and “the boom” that the world is expecting will most likely not happen. Logistical processes will have to be developed in order to adapt to the decentralization that is required by the automation of the whole system.

This master thesis describes Industry 4.0 and the logistics of the automotive industry and also tries to create a model that can be adapted to the ideas of the Industry 4.0. The research is focused on feeding principles. The feeding principles are chosen as a micro-model of the logistics processes and the purpose of taking such a model it is to highlight how interconnectivity will be created and how sensors will help the developing of such Industry. The current state of this logistic process is presented with the help of two case scenarios.

Today the feeding principles are based a lot on human interaction and decisions, which can lead to lots of mistakes. Also the tracking and tracing in some cases is still made with the help of human. In other cases as seen in the second scenario tracking and tracing of the components is made with the help of RFID systems which improves the material flow. Technologies still have to be improved and of course money have to be invested to help the developing of the logistic systems but in the end the ideas of this program will lead to the 4th Industrial Revolution.

To better expose the applications of the Industry 4.0 in to the logistics of the automotive industry, in the last chapter of the thesis, some of the pilot-projects developed for the car manufacturing are described. The projects are ideas of the car manufacturers on how the Industry 4.0 will influence the automotive industry and some of them are already being implemented. The SWOT analyses on the program Industry 4.0 will also help in understanding, how the automotive industry will change.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Problemstellung und Forschungsmethode.....	5
2.1	Problemstellung.....	5
2.2	Forschungsfragen.....	5
2.3	Forschungsmethode.....	5
3	Theoretische Grundlagen.....	7
3.1	Geschichte der Automobilindustrie	7
3.1.1	Anfang der Automobilindustrie	7
3.1.2	<i>Ford</i> und die Massenproduktion.....	7
3.1.3	Die drei großen US-amerikanischen Autohersteller	8
3.2	Die moderne Automobilindustrie	9
3.2.1	Fusionen und Zusammenschlüsse	9
3.2.2	Standardisierung.....	10
3.2.3	Globalisierung.....	12
3.2.4	Neue Entwicklungen	13
3.3	Logistik und Intralogistik	14
3.3.1	Definition der Logistik.....	14
3.3.2	Definition der Intralogistik.....	14
3.3.3	Innerbetriebliche Materialflusssteuerung	15
3.3.4	Steuerungsverfahren	15
3.3.5	Kanban-System	16
3.3.6	Tracking und Tracing	20
3.3.7	Innerbetrieblichertransport	22
3.3.8	Zuführungsprinzipien	28
3.4	Industrie 4.0.....	30
3.4.1	Cyber-physische Systeme (CPS).....	33
3.4.2	Internet der Dinge	36
3.4.3	Internet der Dienste	38
3.4.4	Intelligente Fabrik.....	39
4	Stand der Technik in der Logistik der Automobilindustrie	41

4.1	Szenario 1: Zuführungsprinzip bei <i>Saab</i>	41
4.1.1	Lage des Montagewerkes.....	41
4.1.2	Die angewandte Technologie	43
4.1.3	Materialfluss.....	45
4.2	Szenario 2: RFID Tracking und Tracing – Ein „Best-Case Scenario“	49
4.2.1	Benutzte Technologie	51
4.2.2	Materialfluss.....	53
5	Anwendungen des Programms <i>Industrie 4.0</i> in der Logistik der Automobilindustrie	58
5.1	Szenario 1 aus Sicht der <i>Industrie 4.0</i>	58
5.1.1	Lage des Montagewerks.....	58
5.1.2	Benutzte Technologie	60
5.1.3	Materialfluss.....	64
5.2	Andere Anwendungen der <i>Industrie 4.0</i> an die Automobilindustrie	66
5.2.1	Qualitätsicherung.....	66
5.2.2	Intelligente Produkte	67
5.2.3	Intelligente Geräte.....	69
5.3	Hindernisse auf dem Weg zum Erfolg des Programms <i>Industrie 4.0</i>	70
5.4	SWOT Analyse.....	71
5.4.1	Stärken	71
5.4.2	Schwächen	73
5.4.3	Chancen	74
5.4.4	Risiken	75
6	Schlussfolgerungen.....	77
7	Anhang.....	79
7.1	Aufbau des Endmontagewerks von <i>Saab</i>	79
7.2	EPC-Netzwerk.....	80
8	Literaturverzeichnis	81
9	Abbildungsverzeichnis	87
10	Tabellenverzeichnis	89
11	Abkürzungsverzeichnis.....	90

1 Einleitung

Die Automobilindustrie in Europa und auch weltweit hat einen sehr hohen Entwicklungsgrad erreicht. Um der stetig steigenden Nachfrage besser Herr zu werden, müssen die Automobilhersteller allerdings ein sehr gut organisiertes System finden und auch die Technologien fortlaufend anpassen. In einer auf Tempo ausgerichteten Zeit müssen alle Herstellungsprozesse bis ins kleinste Detail organisiert werden, denn schon der Verlust einer Sekunde kann eine kleine Katastrophe bedeuten.

Die wirtschaftliche Relevanz der Automobilindustrie in Deutschland und Japan ist mit keinem anderen Sektor vergleichbar. In den vergangenen 12 Jahren wurden in Japan durchschnittlich 9,6 Millionen und in Deutschland 5,2 Millionen Autos pro Jahr produziert. Dabei hatten beide Länder in den Jahren 2000 bis 2012 ein stabiles Produktionsleistungsniveau; wobei in Deutschland seit 2009 ein deutlicher Aufwärtstrend erkennbar ist.¹

Zunehmend wichtiger ist es, nicht nur die Technologien an die Entwicklungsgeschwindigkeit anzupassen, sondern auch die Geschäftsmodelle. Um den Produktionsgrad, den die neuen Maschinen ermöglichen, ausnutzen zu können, muss auch die Logistik weiter entwickelt werden. „Die Automobilindustrie war, ist und bleibt auch in Zukunft eine Quelle für innovative Konzepte und Methoden der Logistik“.² Die Produktionsautomatisierung in der Automobilindustrie hat eben auch Auswirkungen auf die Logistik; und vieles, was man aus der Produktion kennt, kann man auch auf diesen Bereich anwenden. Das Ziel dieser Arbeit ist es, diese Anwendungsmöglichkeiten aufzuzeigen.

Um wettbewerbsfähig zu bleiben, muss ein Unternehmen effizient produzieren und prompt auf jede Schwankung des Marktes reagieren können, um der wachsenden Nachfrage nach einzelnen Produkten zu entsprechen. Um das Erreichen dieser Ziele zu gewährleisten, müssen Maschinen, Anlagen und Produkte entwickelt werden, die miteinander kommunizieren können. Diese Kommunikation kommt qualifizierten Mitarbeitern zugute, die keine körperliche Arbeit mehr leisten müssen und die sich stattdessen auf die Optimierung der Steuerung von Produktionsprozessen konzentrieren können und müssen. Die in den vergangenen Jahren entwickelten Technologien müssen kompatibel werden, also miteinander kommunizieren, damit sie gut in die industrielle Fertigung integriert werden können. An dieser Stelle ist das Erstellen einer universellen Sprache, damit alle Akteure einander gut verstehen, unabdingbar und eine große Herausforderung. Da diese Kommunikationssysteme

¹ vgl. T.Staeblein et al. (2014), S.376

² F.Klug (2010), S.VII

allerdings auch anderen Akteuren die Möglichkeit bieten, auf die internen Informationen zuzugreifen, wird die Frage zur Sicherheit der Daten immer wichtiger.

„Ein stetig steigender Wunsch der Kunden nach Individualität, zunehmend volatile Märkte, globaler Wettbewerb, Ressourcenknappheit, ökologische Aspekte und Kostendruck zwingen Unternehmen zu mehr Flexibilität“.³ Diese zu gewährleisten, ist eine der wichtigsten Fähigkeiten beim Projekt *Industrie 4.0*: Das Programm bietet ein Modell, das eine Produktion gemäß dem Wunsch der Kunden erlaubt.

Da hiermit die vierte industrielle Revolution schon eingeleitet ist, müssen sich die Automobilhersteller den neuen Anforderungen anpassen, um auf dem Markt zu überleben. Und dabei müssen nicht nur die Produktionsprozesse verändert werden, sondern auch die Logistikmodelle. Der Großteil der Montagewerke der Automobilhersteller sind bereits mit automatischen Produktionsgeräten ausgestattet, aber die Logistik-Prozesse sind veraltet und können nicht mehr die Bedürfnisse der automatisierten Produktion erfüllen. Neue logistische Modelle sollen geschaffen werden.

In dieser Diplomarbeit wird - aus einer theoretischen Sichtweise heraus - versucht, ein solches Modell zu entwerfen. Das Programm *Industrie 4.0* beschreibt die technologische Entwicklung sehr gut, aber es bietet keine Lösung für die Anpassung verschiedener Prozesse an diese neuen Technologien.

³ vgl. Studie *Industrie 4.0*, Eine Standortbestimmung der Automobil- und Fertigungsindustrie, Zusammenfassung, S.1

2 Problemstellung und Forschungsmethode

2.1 Problemstellung

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist es, die Anwendungen des Programms *Industrie 4.0* in der Logistik der Automobilindustrie zu beschreiben. Es wird der aktuellen Stand der logistischen Prozesse analysiert, der Zuführung von Teilen an die Hauptmontagelinie in einem Automobilwerk, und es wird ein Szenario entwickelt, wie ein zukünftigen Status auf der Grundlage der Umsetzung von RFID-Systemen und cyber-physischen Systemen (CPS) aussehen kann. Im Mittelpunkt stehen die Elemente der Zuführungsprinzipien und ihre Anpassung auf die Technologie, die die *Industrie 4.0* benötigt.

Jeder einzelne Autohersteller hat seine Vision, wie ein Montagewerk aufgebaut sein soll, daher ist die Anzahl der Varianten riesig. Diese Diplomarbeit zielt darauf ab, ein Szenario zu entwickeln, das prinzipiell in jeder Art von Montagewerk angewendet werden kann, aber sie orientiert sich vorwiegend an dem Typ eines Montagewerks, das Plattformen nutzt, um die Autos zu montieren. Dieses Szenario wird die Anwendungsmöglichkeiten des Programms *Industrie 4.0* zeigen und wird dadurch dazu beitragen, sich ein besseres Bild darüber machen zu können, wie die *Industrie 4.0* nicht nur in den Produktionsprozessen, sondern auch in den Logistikmodellen implementiert werden kann.

2.2 Forschungsfragen

Auf der Basis des Forschungsproblems und den Forschungsschwerpunkten sind folgende zentrale Fragen zu beantworten:

- Wie sieht heute ein Zuführungsprinzip in einem Montagewerk eines Automobilherstellers aus und wie läuft der Materialfluss?
- Kann ein Zuführungsprinzip an die Anforderungen der *Industrie 4.0* angepasst werden und wie sollte es dann aussehen?
- Was sind die Anwendungsmöglichkeiten des Programms *Industrie 4.0* in der Logistik der Automobilindustrie, die bereits erforscht wurden?
- Welches sind die Stärken, Schwächen, Chancen, Risiken und Herausforderungen der *Industrie 4.0*?

2.3 Forschungsmethode

Das Arbeitskonzept zur Beantwortung der Forschungsfragen umfasst folgende 3 Teile:

Teil 1: Theoretische Grundlagen

Der Theorie-Teil, basierend auf Literaturstudien, beinhaltet das Konzept der *Industrie 4.0* in seinen Hauptelementen und den theoretischen Grundsätzen, die erforderlich sind, um ein Zuführungsprinzip zu verstehen. Dieser Teil sollte dem Leser helfen, zu verstehen, was *Industrie 4.0* ist, was ein Zuführungsprinzip ist und was die verwendete Technologie eines solchen Zuführungsprinzips fordert. Damit erhält der Leser alle benötigten Informationen, um den Stand der Technik verstehen zu können und die Anwendungen der Ideen der *Industrie 4.0* in der Logistik der Automobilindustrie zu erkennen.

Teil 2: Stand der Technik in der Automobilindustrie

Dieser Teil beinhaltet zwei Szenarien und es beginnt mit der Beschreibung einer Variante eines Zuführungsprinzips in einer Fabrik, die noch keine Automatisierung im Logistikprozess implementiert hat. Das Unternehmen verwendet ein Kitting und ein Kanban-System, um die Teile an das Montageband zu liefern. Das zweite Szenario zeigt eine Fabrik, die bereits RFID-Systeme für Tracking und Tracing umgesetzt hat, um das Zuführungsprinzip zu verbessern. Damit werden die Unterschiede zwischen verschiedenen Automobilherstellern gezeigt. Anhand der Beschreibung dieser beiden Szenarien ist auch gut erkennbar, wie ein Übergang von den klassischen auf die zukünftigen Zuführungsprinzipien zu schaffen ist.

Teil 3: Anwendungsmöglichkeiten der Ideen des Programms *Industrie 4.0* in der Logistik der Automobilindustrie

Dieser Teil wird in drei Unterkapitel aufgeteilt. Das erste zeigt das Szenario 1 aus Sicht der *Industrie 4.0*, das zweite beschreibt andere Anwendungen des Programms *Industrie 4.0* in der Logistik der Automobilindustrie und abschließend wird *Industrie 4.0* einer SWOT-Analyse unterzogen.

3 Theoretische Grundlagen

3.1 Geschichte der Automobilindustrie

Obwohl sie - im Vergleich zu anderen Industrien - eine jüngerer Zweig ist, hat die Automobilindustrie eine große Bedeutung für künftige Entwicklungen. Schon ihre Rolle und ihre Auswirkungen auf das Leben im 20. Jahrhundert hat die Aufmerksamkeit von Fachleuten und Verbrauchern immer auf sich gezogen.

3.1.1 Anfang der Automobilindustrie⁴

Das Auto hatte seinen Ursprung im 19. Jahrhundert in Europa, aber der Automobilbau im industriellen Maßstab erfolgte erst mit der Entwicklung der Technologie zur Massenproduktion im 20. Jahrhundert in Nordamerika. In der zweiten Hälfte des Jahrhunderts gab es eine plötzliche Wendung, weil Japan und Westeuropa wichtige Hersteller und Exporteure wurden.

Ein Meilenstein in der Automobilindustrie war die Erfindung des Verbrennungsmotors zwischen 1860-1870 in Frankreich und Deutschland. Anschließend benutzten auch die britischen, italienischen und amerikanischen Hersteller diese Art von Motoren.

Wenngleich der Automobilmotor von Benz und Daimler in Deutschland entwickelt wurde, wurde er in Frankreich bei Peugeot und Levassor in Fahrzeuge, so wie wir sie heute kennen, eingebaut und verbessert. Diese Hersteller verwendeten die *Daimler-Motoren*, führten aber eine Reihe von Innovationen durch, die erheblich zur Entwicklung des modernen Autos führten. Erwähnenswerte Beiträge zur modernen Gestaltung des Autos sind unter anderem die Positionierung des Motors vorn im Wagen sowie die Wasserkühlung.

3.1.2 Ford und die Massenproduktion

Die Massenproduktion von Autos wird in der Regel Henry Ford zugeschrieben. Ford wollte „für die Massen ein Auto“ machen und so baute er ein langlebiges, wirtschaftliches und leicht zu pflegendes Fahrzeug.⁵ Er hatte dabei das Problem, die Produktionskosten niedrig zu halten.⁶ Das Ergebnis war das weltweit bekannte *Model T* welches im Jahr 1908 auf den Markt kam. Mehr als 15 Millionen dieses Modells wurden produziert. Henry Fords Einführung des Fließbandes in der *Highland Park*

⁴ vgl. S. Parissien (2013), S.8

⁵ vgl. D. Hounshell (1985), S.218

⁶ vgl. P. Raulerson et al. (2009), S.36

Fabrik in den Jahren 1913 bis 1924 revolutionierte die Art, wie Autos hergestellt und anschließend verkauft wurden.⁷

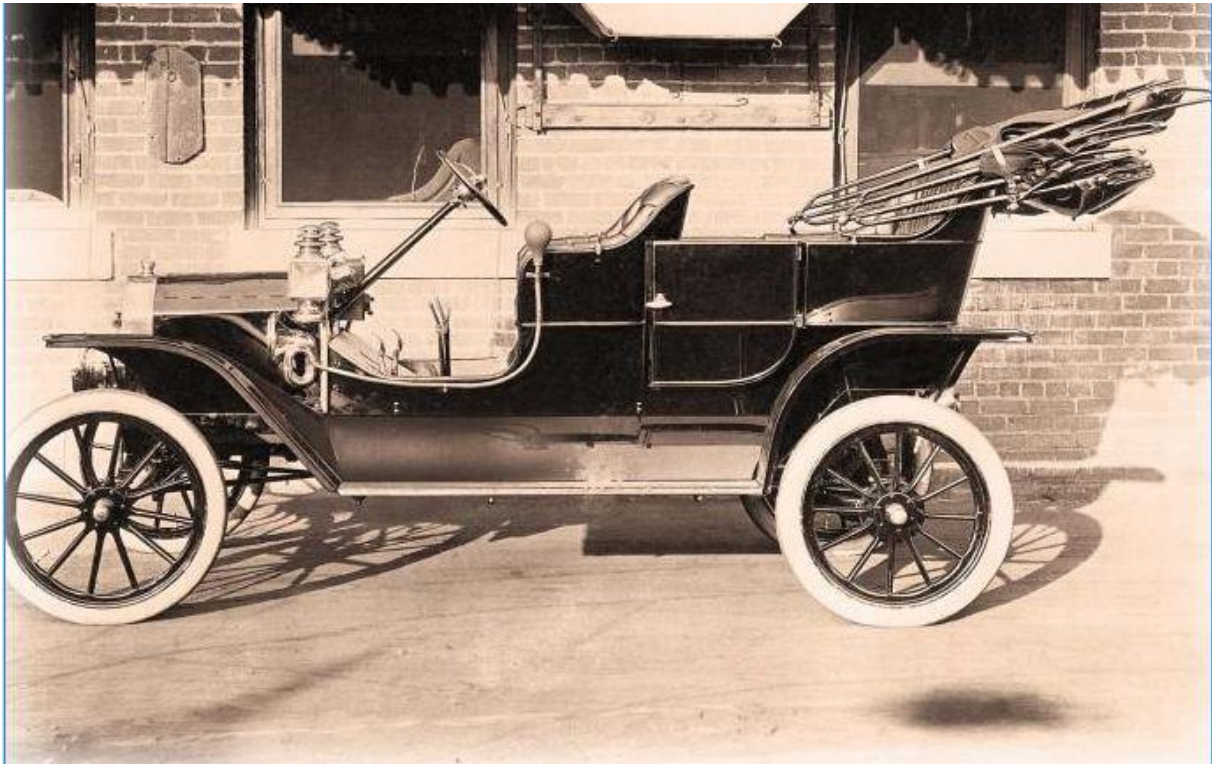


Abb.1: Ford Model T⁸

Der Erfolg von *Ford* hat andere Hersteller inspiriert, die dann neue und geringfügig teurere Modelle erstellten. Im Laufe der Zeit überflügelten die neuen Hersteller *Ford*, weil *Ford* nicht anerkennen wollte, dass sein *Model T* veraltet war. Der Kampf um Erfolg und die Internationalisierung von *Ford* stellten einen ersten Schritt in Richtung von Standardisierung dar. Von damals bis heute versuchten Hersteller eine Modalität zu finden, um mehr und kostengünstig produzieren zu können, ohne dabei Qualitätsverluste beim Produkt hinnehmen zu müssen.⁹

3.1.3 Die drei großen US-amerikanischen Autohersteller¹⁰

Am Ende des Ersten Weltkrieges hatte *Ford* nicht nur die Automobilindustrie in dem Vereinigten Staaten, sondern in der ganzen Welt dominiert. *Britisch Ford* war der größte Produzent aus Großbritannien. *General Motors* war das einzige Unternehmen, das an dem Niveau von *Ford* heran kommen konnte.

Am Anfang der zwanziger Jahre wurde erst *General Motors* von der Wirtschaftskrise getroffen. Danach wurde die gesamte amerikanische Automobilindustrie davon erfasst. Als Alfred P. Sloan Manager von *General Motors* wurde, entwickelte sich das

⁷ vgl. M.Vaupel (2008), S.65

⁸ Quelle: T.Collins (2007), S.59

⁹ vgl. <http://www.britannica.com/topic/automotive-industry>, zuletzt geprüft am 10.03.2015

¹⁰ vgl. S.Parissien (2013), S.3

Unternehmen zum Marktführer. In dieser Zeit wurde die Methode der autonomen Produktionsbereiche entwickelt und angewendet, die im Laufe der Zeit Modell für andere Unternehmen wurde.

Der drittgrößte Hersteller in den Vereinigten Staaten entstand, als die *Maxwell Motor Company* im Jahr 1921 während der Wirtschaftskrise in Konkurs ging und Walter P. Chrysler beauftragt wurde, das Unternehmen neu zu organisieren. Dieses bekam anschließend seinen Namen und sollte durch Kauf der Firma *Dodge Brothers* einen echten Aufschwung erleben.

3.2 Die moderne Automobilindustrie

Die moderne Automobilherstellung stellt einen sehr großen Industriezweig dar. So hängt etwa jedes sechste Unternehmen in den Vereinigten Staaten von Amerika in gewisser Weise von der Automobilindustrie ab.¹¹ Nach wie vor belegen die US-Amerikaner gegenwärtig den ersten Platz in diesem Bereich, doch allmählich machen ihnen Hersteller aus Ländern wie Japan, Korea oder den Staaten in Westeuropa diese Position streitig.

3.2.1 Fusionen und Zusammenschlüsse

Heute gibt es einen Trend zu Fusionen. In jedem Land, das Automobile produziert, gibt es nur ein paar größere Hersteller, während die kleineren verschwinden. Die Hauptursache für diese Veränderung ist die Massenproduktion, die erhebliche Investitionen in die Ausrüstung der Werke erfordert. Solche Investitionen können sich nur einige große Unternehmen leisten. Ein weiterer Faktor für Fusionen sind auch Umweltsteuern, die mit der Anzahl der produzierten Autos wachsen.¹² Auch die Nachfrage und Notwendigkeit zur Entwicklung und Herstellung umweltfreundlicher Fahrzeuge geht mit höheren Forschungs- und Produktionskosten einher.

Doch trotz aller organisatorischer Entwicklungen in der Autoindustrie verlassen sich selbst die größten Hersteller heute immer noch auf einen Rahmen, der zum ersten Mal bei *General Motors* in den 20-er Jahren des vorigen Jahrhunderts festgelegt wurde. Dabei gilt es, in erster Linie ein Exekutivkomitee zu etablieren, das die Verantwortung für die zentrale Politik, die Planung und alle Unternehmensbereiche übernimmt, das ferner eine eigene interne Verwaltung hat und verpflichtet ist, der zentralen Führung Bericht zu erstatten.¹³

Beachtenswert ist auch, dass die internationalen Verflechtungen infolge der Globalisierungstendenzen immer häufiger werden. Durch Allianzen hoffen Hersteller, stärkere Marken aufzubauen und etablieren zu können, aber allein die Dimension eines

¹¹ vgl. D.Anastakis (2012), S.518

¹² vgl. Weichrich et al. (2013), S.187

¹³ vgl. R.Luadan (1984), S.77

Konzerns kann keine Garantie für seinen Erfolg sein. Automobilfirmen müssen auch beachten, dass jedes Unternehmen seine Kultur hat und oftmals verschiedene, stark unterschiedliche Kulturen einer gut funktionierenden Fusion im Wege stehen können. Ein gutes Beispiel, das Richard van Basshuysen in seinem Buch „Fahrzeug-Entwicklung im Wandel“ gibt, ist die Fusion zwischen den Firmen *General Motors/Opel* und *Fiat*, bei der anschließend *General Motors* eine Abfindung in Höhe von 1,55 Milliarden Euro bezahlt hat, nur um *Fiat* wieder los zu werden.¹⁴

3.2.2 Standardisierung

Heute mehr denn je müssen alle Unternehmen versuchen, ihre Effizienz zu steigern und die Kosten zu minimieren, um dem wachsenden Konkurrenzdruck Stand zu halten. Das Einführen und Umsetzen gewisser Normen sollte dabei insofern einen positiven Effekt auf die Qualität und Produktivität haben, als dass es zu einer Kostensenkung kommen kann. Auf lange Sicht wird damit ein hohes Maß an Standardisierung erreicht.¹⁵

Ein rumänisches enzyklopädisches Wörterbuch definiert den Standard als eine Norm oder Reihe von Normen, die die Qualität, Beschaffenheit und Eigenschaften eines Produktes regeln.¹⁶ Standards sind in vielen Formen und Bereichen auch in unserem täglichen Leben zu finden und sie führen meistens zu einer Einebnung der Trends. Die Automobilindustrie ist ein sehr gutes Beispiel für die Standardisierung. Am Anfang hatte jeder Hersteller ein vollkommen eigenes Auto mit innovativem Design und unverwechselbarer Form gebaut, aber im Laufe der Zeit begannen sich sowohl die Motoren als auch die Karosserien der Autos immer ähnlicher zu werden. In der Frühphase wurden Dampfmaschinen, Verbrennungsmotoren, Elektromotoren entwickelt und eingebaut; zwischenzeitlich gab es fast nur Autos mit Verbrennungsmotoren, neuerdings setzt man auch wieder auf Elektromotoren. Aber viel grundlegend Neues bzw. Innovatives findet sich zur Zeit bei keinem Hersteller; lediglich bei Hybridmotoren werden gelegentlich neue Varianten entwickelt.

Auch im Produktion- und Logistikbereich haben sich im Laufe der Zeit verschiedene Standards entwickelt. Gegenwärtig produziert nahezu jede Fabrik mit Hilfe eines Systems von Plattformen und Montagelinien und stellt die Autos aus vorgefertigten Teilen her. Allein schon die Verwendung von Euro-Paletten und Containern ermöglicht eine vereinfachte, leichter Handhabung. „Ein weiterer Ansatz zur Reduzierung und Beherrschung von Komplexität in Logistikprozessen ist die Standardisierung logistischer Abläufe in der Beschaffungs-, Produktions-, Distributions- und Ersatzteil-Logistik eines Automobilherstellers. Unter der

¹⁴ vgl. Richard van Basshuysen (2010), S.160

¹⁵ vgl. F.Gehr, B.Hellingrath (2007), S.139

¹⁶ vgl. Dicționar Explicativ al Limbii Române (1986), S.1651

logistischen Standardisierung versteht man das antizipierende Durchdenken von Problemlösungswegen und die darauf aufbauende Festlegung von Logistikaktivitäten, die im Wiederholungsfall routiniert oder gleichartig ablaufen.“¹⁷

Eine Produktdiversifizierung steht in einem proportionalen Verhältnis zur Anzahl der notwendigen Prozesse und der damit verbundenen Anzahl an Logistikaktivitäten. Neue Produkte müssen allerdings in verschiedene Formen gepackt werden, um transportiert oder gelagert zu werden. Die Klassifizierung von Prozessabläufen ist selbst ein standardisierter Prozess, der zur Verbesserung in der Logistik beiträgt.¹⁸ Die Prozesselemente sind in einem modularen System angeordnet, und werden dann je nach ihrer Funktion kombiniert.

Um die Logistikprozesse zu optimieren, müssen die Unternehmen bestimmte Regeln festlegen. Es ist erwiesen, dass die Mitarbeiter besser arbeiten, wenn sie die Schritte und die Dauer eines Projektes kennen. Erst durch die Standardisierung wird ein effizienter und effektiver Ressourceneinsatz im Unternehmen ermöglicht.¹⁹ Standardisierte Prozesse können zu geringeren Kosten durch die Gestaltung des Material- und Informationsflusses führen. Ebenfalls mittels Standardisierung wird eine effiziente Integration der Logistikpartner ermöglicht, sobald sie Zugang zu gut aufbereiteten bzw. transparent präsentierten Information haben. So betont Florian Klug in seinem Buch „Logistikmanagement in der Automobilindustrie“: „Die Schaffung von Standards im Bereich der Logistik bietet viele Möglichkeiten und soll anhand einiger bereits realisierter Beispiele in der Automobilindustrie verdeutlicht werden.“²⁰

Obwohl die Standardisierung einen hoch organisierten Prozess ermöglicht, hat sie ihre Schwachstellen. So wurde beispielsweise durch Standardisierungen im Bereich der Logistik die Freiheit der Mitarbeiter eingeschränkt.²¹ Dieses kann zur Senkung der Motivation führen. Normung kann auch negative Auswirkungen auf die Reaktionszeit in Notfällen haben; wenn vorwiegend reflektorisch gearbeitet wird, verzögert sich eine Handlung, die nicht einprogrammiert ist. Um „Roboter-Arbeitnehmer“ zu vermeiden, sollten die logistischen Prozesse spezifisch und allgemein beschrieben sein, aber die Individualität des Arbeiters maximal berücksichtigen und somit gewinnbringend einsetzen.

Im *Fordismus* und *Taylorismus* finden sich entscheidende Weichen zur historischen Entwicklung der Standardisierung in der Automobilindustrie. Die Auflagen durch Normen und die Normierung von Prozessen führten zu einem großen Erfolg, der die

¹⁷ F.Klug (2010), S. 171

¹⁸ vgl. F.Gehr, B.Hellingrath (2007), S.146

¹⁹ vgl. Imai (1997), S. 19 f.

²⁰ F. Klug (2010), S.69

²¹ vgl. C.Constanze (2005), S.22

Aufmerksamkeit anderer Hersteller auf sich zog.²² Dies löste einen globalen Trend zur Standardisierung aus.

Normen in diesem Bereich des Herstellungsprozesses regeln auch die Reihenfolge der Aufgaben und Arbeitsschritte, die ein Arbeitnehmer ausführen muss. Sie basieren auf Zeit- und Bewegungsstudien aus denen plausible Schlüsse gezogen werden, die dann zu Handlungsanweisungen für die Arbeiter führen. Aufgrund solcher Prozesse wird ein Arbeiter nicht mehr länger Handwerker sein, sondern zu einer Art Industriemaschine umfunktioniert. Zugunsten der industriellen Produktivität werden das handwerkliche Können sowie die innovativen und kreativen Fähigkeiten der Arbeiter kaum mehr eingefordert.²³

3.2.3 Globalisierung

Faktoren wie der technologische Fortschritt, geringere Transportkosten und die Liberalisierung der Handelspolitik haben zu einem erhöhten Handel zwischen den einzelnen Ländern der Welt geführt. Dieser Aspekt hat deutliche Auswirkungen auf das Funktionsgefüge in der globalen Wirtschaft. Globalisierung, obwohl sie eine Quelle von großen Vorteilen und Chancen ist, bedeutet aber auch, dass sich jeder Hersteller in jedem Staat einem harten Wettbewerb stellen muss. Dabei ist es egal, ob es sich um Niedriglohnländer wie China und Indien oder einem Land mit einer innovativen Wirtschaft wie die Vereinigten Staaten handelt.²⁴

Der Begriff *Globalisierung* wird als ein komplexer, sozioökonomischer und kultureller Prozess definiert, dessen Hauptmerkmale die globale Verbreitung demokratischer Institutionen und Praktiken sowie die Popularisierung und Verbreitung von finanziellen und technologischen Wirtschaftsmodellen sind. Dabei wird die Globalisierung universalisiert und die Idee der Vereinheitlichung in Unternehmen gebracht. Damit geht eine Relativierung der nationalen Identitäten einher, durch die sich Nationen oder Gemeinschaften in ihrer Existenz definieren.²⁵

Der *Internationale Währungsfond* definiert Globalisierung als zunehmende wirtschaftliche Interdependenz der Länder durch ein steigendes Volumen und eine Zunahme der Vielfalt beim Austausch von Waren und Dienstleistungen über Grenzen hinweg.²⁶

Im Bereich der Automobilindustrie reduzierte sich infolgedessen die Anzahl der unabhängigen Hersteller auf etwa ein Dutzend. Das ist eine dramatische Abnahme

²² ebendort, S.25

²³ vgl. C.Constanze (2005), S.30

²⁴ vgl. J.Österhammel, N. Petersson (2007), S.65 ff.

²⁵ vgl. J.B Deng (2003), S.22

²⁶ vgl. IMF, World Economic Outlook, Mai 1997

im Vergleich zum Jahr 1964, als es noch 52 eigenständige Hersteller gab. Es mag erstaunlich wirken, dass - trotz der geringen Zahl an Produzenten - die Zahl der produzierten Autos zunimmt. Der Effekt ist durch eine Wechselwirkung zwischen der Globalisierung und der Standardisierung erklärbar. Durch Fusionen hat sich zwar die Anzahl der Hersteller verringert, nicht aber die der Automarken. Die Hersteller haben nur beschlossen, ihre Kräfte zu bündeln, um mit dem Wettbewerb besser zu Recht zu kommen.²⁷

3.2.4 Neue Entwicklungen

Obwohl es einen weltweiten Trend zum Anstieg der Verkaufszahlen gibt, kämpfen die Hersteller darum, größere Marktanteile zu erobern und Gewinne im Hinblick auf jene Produkte zu erzielen, die in einem ständigen Wandel sind. Die globale Automobilindustrie blickt zwar auf eine Periode von Wachstum und Gewinnzunahmen zurück, die Erwartungen für die Zukunft sind jedoch unsicher.²⁸

Wegen der Konkurrenz und Internationalisierung der Industrie haben Hersteller verschiedene Methoden eingesetzt, um die Entwicklungszeit eines Automobils auf 4 Jahren zu verkürzen.²⁹ Produzenten zwingen beispielsweise Zulieferer nicht nur die volle Verantwortung für die Neugestaltung einzelner Teile zu übernehmen, sondern fordern auch Zeitersparnis ein. In den meisten Fällen übernimmt der Hersteller von Komponenten dann auch die Verantwortung für die Produktentwicklung und das Engineering.

Um dem Druck der Kundenwünsche gerecht zu werden, erhöhen die Hersteller die Anzahl der Modelle, die sie anbieten, müssen aber auch die Zahl der Maschinenarchitekturen erhöhen, auf denen diese gebaut werden. Im Gegenzug muss drastisch an einer Verbesserung der Produktgemeinsamkeit gearbeitet werden. *Volkswagen* hat beispielsweise angekündigt, dass alle Produktionsprozesse auf modularen Plattformen stattfinden werden.³⁰ Die erstellte Komplexität erhöht zwar im Prinzip die Kosten, aber ein zusätzlicher Aufwand wird durch die gemeinsame Nutzung von Komponenten zwischen Autos und Plattformen sowie durch eine erhöhte Produktmenge wieder wettgemacht.

²⁷ vgl. G Hab et al. (2013), S.21

²⁸ vgl. R.Culpan (2002), S.114

²⁹ ebendort, S.113

³⁰ vgl. K.Engel et al. (2015), S.213

3.3 Logistik und Intralogistik

3.3.1 Definition der Logistik

„Unter Logistik wird oftmals eine unternehmerische Funktion verstanden, die alle Transport-, Lager- und Umschlagvorgänge in einem Unternehmen und zwischen den Unternehmen plant, steuert, realisiert und überwacht.“³¹ „Logistik beschäftigt sich mit allen Tätigkeiten: die Planung, Organisation, Steuerung, Abwicklung, Überwachung und Optimierung des Material-, Personen-, Energie- und dem damit verbundenem Informationsfluss im System. Logistik ist ein sehr komplexer Bereich beginnend bei der Beschaffungsplanung und der Entwicklung bis zur Auslieferung der Produkte zum Kunden.“³²

Die Grundaufgabe der Logistik ist „die richtige Menge, das richtige Objekt, am richtigen Ort im System, zum richtigen Zeitpunkt, in der richtigen Qualität, zu den richtigen Kosten, mit den richtigen Informationen zur Verfügung zu stellen.“³³

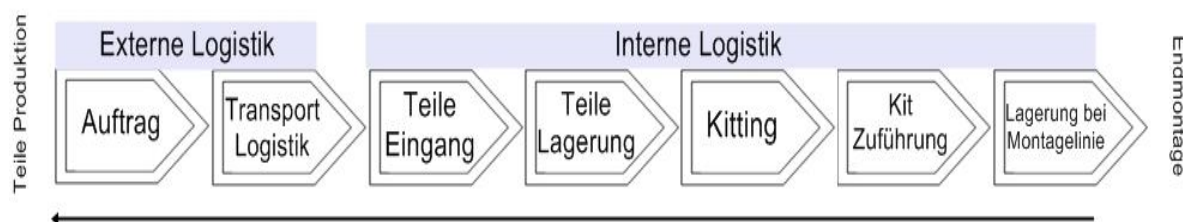


Abb.2: Prozess Schritte im Logistik³⁴

Die Logistikobjekte sind Handelswaren, Lebensmittel, Rohstoffe oder Vorprodukte, Halbfabrikate, Investitionsgüter oder Konsumgüter. Es gibt eine spezielle Gruppe von Logistikobjekten, die besondere Sicherheit und Service erfordern: Personen und andere Lebewesen.³⁵

3.3.2 Definition der Intralogistik

Interne Logistik übernimmt alle Schritte von der Aufnahme der Fertigungskomponenten, über die Ordnung in temporären Speicherplätzen bis hin zur Zuführung an der Produktionslinie. Vom Wareneingang werden die Komponenten von Lieferanten oder Trägern übernommen und sind ab da in der Verantwortung des OEM (Original Equipment Manufacturers). Wenn sie nicht durch das Just-in-Sequence-Produktionssystem (JIS) zur Produktionslinie geschickt werden, müssen

³¹ S.Koch (2012), S.6

³² Bopp (2012), S.12

³³ R.Bopp (2012), S.13

³⁴ ebendort, S.29

³⁵ vgl. T.Gudehus (2007), S.1

die Komponenten in einem Zwischenlager gespeichert und in Ladungsträger sortiert werden.³⁶

3.3.3 Innerbetriebliche Materialflusssteuerung

Ein Produktionssystem kann nur dann gut funktionieren, wenn der Materialfluss keine Unterbrechungen hat. Es ist notwendig, einen optimal gesteuerten Materialfluss zu haben, um Zeit zu sparen und eine Störung der Produktion zu vermeiden. In diesem Kapitel wird der innerbetrieblichen Materialfluss erklärt und anschließend ein Überblick über die Kanban-Steuerungsmethode und das Supermarket-Prinzip gegeben.

3.3.4 Steuerungsverfahren³⁷

„Die Effizienz einer Steuerung hängt neben den Steuerungsmethoden von einer adäquaten Dimensionierung der Parameter und deren Pflegezustand ab. Allein auf Grund der physikalischen Fehlerfortpflanzung gilt: Je komplexer und umfangreicher die Abläufe oder Basisdaten sind, desto unwahrscheinlicher ist eine „fehlerfreie“ Berechnung der Planvorgaben.“³⁸ Alle Steuerungsverfahren zielen darauf ab, die anfallenden Kosten und den Zeitaufwand zu minimieren, um einen kostengünstigeren und effizienteren Produktionsprozess zu erreichen. Diese Zielsetzungen wirken sich auf unterschiedliche Weise bei der Gestaltung des Materialflusses aus und machen den Steuerungsprozess schwierig. Drei Steuerungsverfahren, die die benötigte Flexibilität bieten, sind das bestands- und bedarfsorientierte sowie prognosebasierte Verfahren.

- Bestandsorientiertes Verfahren

Diese Methode ist für eine Kundenauftragsproduktion geeignet. Dabei wird ein Produkt dem Wunsch des Kunden gemäß und nach Eingang des Auftrags hergestellt. Das Hauptmerkmal dieser Methode ist der zufällige Auftragseingang, wodurch die Auftragsreihenfolge und die Auslastung ebenfalls einem stochastischen Verlauf unterliegen. Aufgrund der unterschiedlichen Auftragsreihenfolgen ist eine Optimierung der Kapazitätsinanspruchnahme nicht möglich. Beim Herstellen solcher Produkte ist keine Prognose möglich. Die Produktionweise wird auch „Make-to-order“ genannt.

³⁶ vgl. F.Klug (2010), S.91

³⁷ vgl. P.Dickmann (2007) S.117

³⁸ ebendort, S.116

- Bedarfsorientiertes Verfahren

„Unter einem bedarfsorientierten (programmorientierten) Materialabruf in der Fahrzeugmontage versteht man die automatische und exakte Ermittlung bereitstellungsspezifischer Bedarfe auf Basis des gebauten Fahrzeugtagesprogramms. Dieser Materialabruf generiert sich aus dem, durch das Produktionsplanungssystem berechnete, terminierte Netto-sekundär Bedarf.“³⁹ Dieses Verfahren wird durch bestimmte Grenzen definiert wie z.B. Mindestabstand, Bestellbestand oder Sollbestand. Der Abgang von Material löst nach dem Pull-Prinzip die Beschaffung oder den Produktionsauftrag für die Komponenten aus. Dieses Verfahren ist im Hinblick auf einen kontinuierlichen Bedarf oder für Anwendungen mit kürzeren Lieferzeiten geeignet. Ein bestandsorientiertes Verfahren wird vorwiegend im Handel, aber auch in der Produktion benutzt.

- Prognosebasiertes Verfahren

„Alle mathematischen Verfahren zur Prognose des zukünftigen Verlaufs einer Zeitreihe, eines stochastischen Stroms, eines Bedarfs oder eines Verbrauchs setzen voraus, dass sich der zeitliche Verlauf in einem bestimmten Beobachtungszeitraum der Vergangenheit für einen Prognosezeitraum in der Zukunft fortsetzt.“⁴⁰ Bedarfe vom Kunden und Planungen werden in Zusammenhang gebracht, Wiederbeschaffungszeiten und die Stücklistenauflösung werden berücksichtigt sowie Auftragspläne auf der Sekundärbedarfsebene erzeugt. Bei diesem Verfahren handelt es sich um ein Push-System. Die Aufträge werden gewissermaßen an der Produktionskette entlang geschoben. Diese Methode ist zur Steuerung bei einer bekannten bzw. kalkulierbaren zukünftigen Entwicklung vorteilhaft.

3.3.5 Kanban-System

Kanban bedeutet wörtlich Karte oder Zettel und es ist ein Steuerungssystem für Lean- und Just-in-Time-Produktionen. Kanban steuert die Logistik aus der Produktionssicht und bezeichnet ein verbrauchsorientiertes, dezentrales Steuerungsverfahren. Dieses Prinzip wurde von Taiichi Ohno, einem Ingenieur bei Toyota, entwickelt und wird zur Verbesserung des Produktionsniveaus eingesetzt. Kanban umfasst nicht nur die Steuerungsmethode, sondern gibt generelle Verfahrensregeln vor.⁴¹

³⁹ F.Klug (2010), S.177

⁴⁰ T.Gudehus (2007), S.293

⁴¹ vgl. J.Vatalaro (2005), S.89

Bei Kanban wird der Abrufimpuls über eine Karte gesteuert. Beim Anbruch eines Montagebehälters wird die Karte entnommen und in einen Kanban-Briefkasten gesteckt. Auf der Kanban-Karte sind Informationen hinterlegt wie z.B. Teilenummern, Quelle, Standardmenge pro Behälter und die laufende Nummer des Kanban. Der für diesen Fahrkreis zuständige Materialbereitsteller entleert die entsprechenden Briefkästen nach Vorgaben zu Entleerungszeiten. Gleichzeitig wird das von seiner letzten Rundtour abgerufene Material bereitgestellt und das angefallene Leergut entsorgt. Mit dieser Methode wird eine unnötige Bestandhaltung vermieden, weil die Fahrkreiszyklen mit den vorgegebenen maximalen Wiederbeschaffungszeiten auf die Behälterreichweiten abgestimmt sind.⁴²

Die Elementen der Kanban-Steuerungsmethode sind nach Dickmann:⁴³

- Der Kanban-Kreis

Er umfasst eine Kunden-Lieferanten-Verbindung. Das Material in einem Behälter wird verbraucht, bis dieser leer ist. Wenn der Behälter leer ist, wandert die Kanban-Karte an die Nachschubquelle bzw. zum internen oder externen Lieferanten zurück, wo er erneut befüllt wird. All dies erfolgt eben zyklisch.

- Kanban-Karten

Kanban-Karten sind der Informationsträger für die Kanban-Systeme. Sie enthalten alle für Produktion, Lagerung, Einkauf und Transport relevanten Daten. Sie entsprechen in der Abstraktion den realen Gebinden. Karten und Gebinde müssen nicht immer physisch miteinander verbunden sein; weil die Karten im Kreis laufen, wird auch der Aufwand zum Erstellen der Papiere reduziert.

- Kanban-Tafel

Karten werden auf der Tafel in Fächer gesteckt oder mittels Magnettaschen angeheftet. Dann wird das Sammeln von Karten über Felder visualisiert, bis ein Auftrag gestartet werden kann. Die Kanban-Tafeln können zweigeteilt sein: ein Bereich für die Reihenfolgeplanung und einer für die Kapazitätsplanung. Durch das verwendete Aufbewahrungssystem für die am Produktionsablauf beteiligten Karten wird der Verlust von Karten vermieden. Für eine funktionierende Kanban-Tafel ist es wichtig, dass die Anzahl der zuzuordnenden Karten nicht sehr hoch ist.

⁴² vgl. F.Klug (2010), S.179

⁴³ vgl. Dickmann (2007), S.11

- Regelkarten

Alle Änderungen, die in dem Standardprozess auftreten, werden auf deiner Regelkarte vermerkt. Da kein realer Materialfluss mit einem anderen identisch ist, muss erst ein optimaler Ablauf selektiert werden. Regelkarten helfen bei der Umsetzung eines systematischen, effizienten Prozesses. Störgrößen, Sonderbedarfe und Sonderfreigaben werden dokumentiert und können zu einer Veränderung des eingeführten Standards führen. Ohne Regelkarten würde die Effizienz durch „blinden“ Gehorsam verloren gehen.

- Prioritätsfindung im Arbeitssystem

Das Kanban-System hat grundsätzlich eine dezentrale Entscheidungshoheit. Der entsprechende Arbeiter wird aufgrund des Erreichens der Sammelmenge dezentral und selbstverantwortlich Entscheidungen treffen. Er muss nach Kriterien wie etwa niedrigem Lagerbestand oder niedriger Bestandsreichweite selbst priorisieren, wenn es zu einer Überschneidung verschiedener Bedarfe kommen sollte. Die Prioritätsfindung ist ein sehr wichtiger Teil dieses Systems. Da Menschen Entscheidungen treffen müssen, besteht ein höheres Fehlerrisiko.

Bei Kanban gibt es mehrere Steuerungsmethoden. Dickmann unterscheidet in seinem Buch „Schlanker Materialfluss“ folgende Varianten:⁴⁴

- Ein-Karten Kanban
- Zwei-Karten Kanban
- Sicht-Kanban
- Materialnummerneutrales Kanban

„Kanban wird, bezogen auf Lieferanten-Kanban, mit dem Supermarkt-Prinzip dargestellt. Im Supermarkt wird nach dem Pull-Vorgehen durch jeden Verbrauch ein neuer Bedarf beim Lieferanten angestoßen.“⁴⁵ „Die Versorgung der Teile für den Kanban-Kreislauf erfolgt häufig über einen bandnahen Supermarkt. Dabei löst die Kunden- oder Informations-Kanban-Karte, den Transport aus. Die zweite Karte, die Lieferanten- oder Produktions-Kanban-Karte, löst die Produktion aus. In der praktischen Anwendung des Lieferanten-Kanban verlässt die Kunden-Kanban-Karte z.B. das Werk nicht.“⁴⁶ Ziel eines externen Lieferanten-Kanban ist es, trotz niedriger Umlaufbestände eine hohe Versorgungssicherheit, hohe Termintreue sowie hohe Flexibilität bei der Materialanlieferung und -bereitstellung zu erreichen.

⁴⁴ vgl. Dickmann (2007), S. 126

⁴⁵ ebendort, S.9

⁴⁶ ebendort, S.124

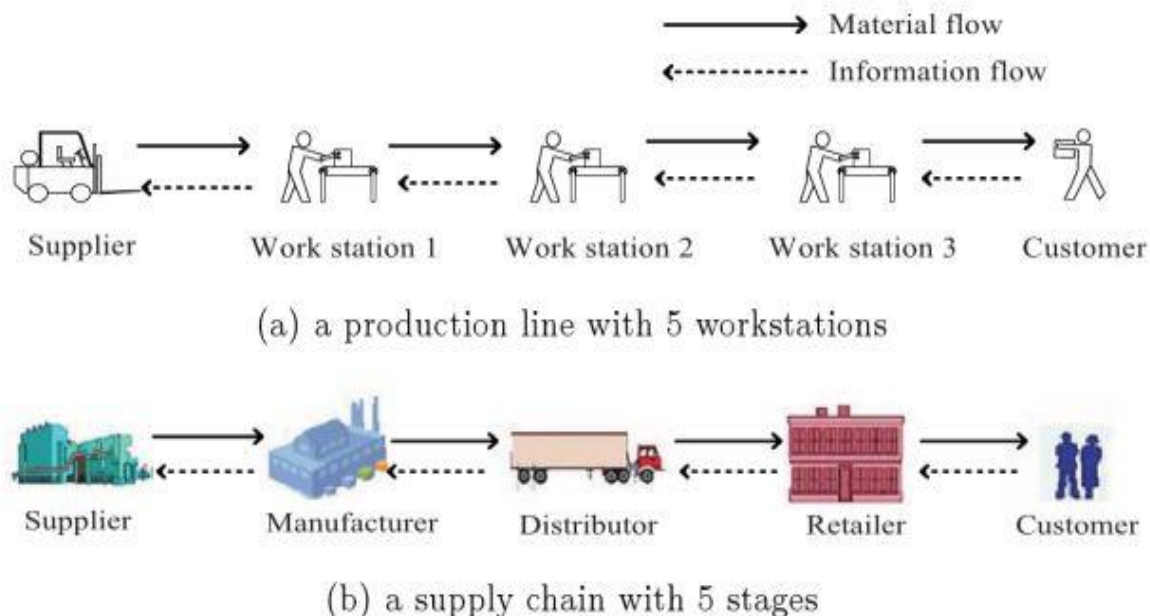


Abb.3: Beispiel eines Kanban System⁴⁷

In einem Supermarkt wird vom Kunden immer nur dann Ware aus dem Regal geholt, wenn diese benötigt wird. Die entnommene Menge entspricht immer der vom Kunden verbrauchten und nun erneut benötigten Menge. Ergibt sich eine Lücke im Regal, so füllt der Supermarkt-Mitarbeiter diese schnellstmöglich wieder auf. Das Supermarktprinzip ist ein in der Industrie häufig eingesetztes Versorgungsprinzip, insbesondere im Bereich der Montage. Kanban ist eine spezielle Ausprägung des Supermarktprinzips. Unter dem Supermarkt kann ein Kanban-Lager verstanden werden, das ähnlich wie die Regale im Supermarkt von internen oder externen Kunden geleert wird und von internen oder externen Lieferanten wieder befüllt wird.⁴⁸

Kanban ist eine Steuerungsmethode, die in einer Zeit entwickelt wurde, in der kaum EDV (elektronische Datenverarbeitung) für die Produktion verwendet wurde. Doch auch noch heutzutage wird die Kanban-Methode viel verwendet, obwohl alle Fabriken nahezu ganz automatisiert sind.

Ein großer Vorteil dieser Steuerungsmethode ist, dass sie zu einer dezentralen Steuerung führt. Der operative Mitarbeiter steuert den Nachschub selbstständig vor Ort allein auf der Basis der Karten auf der Kanban-Tafel. Er muss keine weiteren Kriterien beachten. Weitere wünschenswerte Charakteristika von Kanban sind u.a. eine einfache, sich selbst regelnde Dimensionierung, eine hohe Lieferfähigkeit, Kunden- wie Produktorientierung sowie die Standardisierung einfacher Prozesse.⁴⁹

⁴⁷ Quelle: Zhe Li (2013), S.3

⁴⁸ vgl. F.Klug (2010), S.277

⁴⁹ vgl. Dickmann (2007), S 124

3.3.6 Tracking und Tracing

Tracking und Tracing konzentrieren sich auf die Transportoptimierung und die dynamische Führung von Gütern. Der Begriff Tracking kann als die Sammlung und Verwaltung von Daten über eine aktuelle Position oder den Lieferzustand eines Produktes definiert werden.⁵⁰ Traceability kann als die Fähigkeit, den Ursprung der Materialien und Teile zu verfolgen, definiert werden. Tracking und Tracing sind moderne Tools, die einen Einblick in die Herkunft der verwendeten Produkte, bieten, um die Verbesserung und Optimierung des Supply-Chain-Netzwerkes erreichen zu können.⁵¹

„Tracking ist die aktuelle Bestimmung des Logistikstatus einer Materialbewegung zu einem definierten Zeitpunkt. Werden mehrere Logistikstadien einer Materialbewegung im Zeitablauf zusammengefasst, so handelt es sich um Tracing, bei dem im Nachlauf eine Materialhistorie rekonstruiert wird.“⁵² Mit Hilfe eines Tracking-und-Tracing-Systems wird der Materialfluss zum transparenten Logistikprozess. Transparenz ist ein wertvoller Beitrag für eine bessere Steuerung. Die Implementierung eines Tracking-und-Tracing-Systems kann also die Steuerung des Materialflusses optimieren. Hauptvorteile beim Tracking und Tracing sind die Transportoptimierung und eine dynamische Tourenplanung sowie die Sendungs- und Behälterverfolgung.

Die eindeutige Identifikation des Materials, des Containers und der Ladung ist, was an der Basis dieses Systems steht. Identifikationstechnologien dafür sind in der Regel: Barcode, Radio-Frequency-Identification (RFID), Magnetstreifen, Sprach- und Bildverarbeitungssysteme, die optische Zeichenerkennung, Biometrie u.a.m. (Mehr Informationen über RFID sind im Kapitel 2.3.2.1 dieser Arbeit zu finden.) Jede logistische Ebene nutzt verschiedene Technologien. Die Tracking-Informationen werden bei den Anbietern des Tracking-Services zentralisiert. Von hier kann der Kunde auf Informationen durch Kopplung oder Integration mit dem Tracking-System zugreifen. Die meisten der verfügbaren Tracking-und-Tracing-Systeme nutzen proprietäre Tracking-Nummern, die von den einzelnen Betriebssystemen der Gesellschaften definiert werden. Die definierten Nummern basieren auf einer Anbieter-Informationsarchitektur.⁵³

Dieses System kann als eine Schlüssel-Service-Komponente für die Transportindustrie gesehen werden. In der Logistikkette ist die Empfangsbestätigung in Echtzeit sehr wichtig. Der unmittelbare Status der Verzögerungen oder anderer

⁵⁰ vgl. E.Schuster et al. (2007), S.72

⁵¹ vgl. F.Klug (2010), S.280

⁵² ebendort, S.354

⁵³ vgl. G.Steffansson, B.Tilanus, (2001), S.305

Lieferprobleme ist erforderlich, um so schnell wie möglich reagieren zu können. Durch das Tracking und Tracing des Materialflusses ist es möglich, außergewöhnliche bzw. unerwartete Ereignisse frühzeitig zu erkennen und in solchen Fällen schon zu reagieren, bevor erhebliche Probleme entstehen. Im schlechtesten Szenario ermöglicht dieses System die Reduzierung von Schäden.⁵⁴

„Tracking Systeme“ und „Logistik Monitoring“ sind in zwei Kategorien unterteilt: diskrete und kontinuierliche.⁵⁵ Das diskrete Monitoring greift nur auf die Informationen der Ladungen in vordefinierten Positionen und das kontinuierliche Monitoring greift auf diese Informationen in Echtzeit zu. RFID (Radio Frequency Identification), GPS (Global Positioning System) und GSM (Global System for Mobile Communications) sind nur ein paar Technologien, die zur Verfolgung eingesetzt werden können. Seit wenigen Jahren ist eine neue Technologie für Lösungen in der Tracking-und-Tracing-Logistik immer beliebter: das „Real Time Locating System“ (RTLIS). Dieses System wird normalerweise für die kontinuierliche Verfolgung von Ladungen durch die Verwendung von diskreten Technologien wie RFID und Wireless-Netzwerken eingesetzt.⁵⁶

So können durch Tracking und Tracing in Echtzeit Informationen mit hoher Genauigkeit für ein effizientes Logistik-Management genutzt werden, um zu wissen, wie, wann und wo Ressourcen eingesetzt werden können.⁵⁷ Das Tracking einer Ladung kann zur Kostenreduzierung und zur Beschleunigung der Lieferungen führen. Etwas, das ursprünglich geschaffen wurde, um die Anzahl der Frachtdiebstähle zu verringern, wird heute als ein Verfahren zur Verbesserung der Supply-Chain-Logistik eingesetzt und ist eine sehr wichtige Technologie für die Erstellung der Logistikbranche von *Industrie 4.0*.

Tracking und Tracing, die in einer organisationsübergreifenden Kommunikation anwendbar sind, basieren auf folgenden Größen.⁵⁸

- Einsatzzweck
- Warenidentifikationstechnologie
- Codierung der verfolgten Artikel
- Informationsarchitektur
- Zugriff auf die Tracking-Informationen

⁵⁴ vgl. T. Hollmann Hespos (2008), S.6

⁵⁵ vgl. S.Wagner, C.Bode (2009), S.208

⁵⁶ vgl. Oliveira et al. (2015), S.6093

⁵⁷ vgl. E.Schuster et al. (2007), S.105

⁵⁸ vgl. H.Wannenwetsch, S. Nicolai (2004), S.208

Wenn ein Element, das mit einem Trackingsystem ausgestattet ist, zu der Werkanlage kommt, wird beispielsweise die Ankunft angekündigt, indem eine Nachricht an eine Überwachungsdatenbank gesendet wird. Die Datenbank wird mit Informationen wie der Identität, der Position und der Ankunftszeit zum vordefinierten Element beliefert. Jede Ladung kann mit anderen Informationen, wie z.B. Gewicht oder Menge sowie Angaben zu früheren Lieferungen ausgerüstet werden.

Das Tracking-und-Tracing-System benötigt eine Kodifizierung, die auf dem Spezifikum der logistischen Netzwerke basiert. Diese Kodifizierung ist vor der Ausstattung der Produkte mit Identifizierungstags vorzunehmen. Die Funktion der Kodifizierung eines Artikels oder eines Produktes ist, den Informationsaustausch zwischen den potenziellen Partnern der Logistikkette zu erleichtern.

Die meisten der Tracking-und-Tracing-Software-Systeme sind rein Internet-basierte Echtzeit-Systeme, auf die Benutzer von jedem Ort aus zugreifen können - eine Internetverbindung und einen Web-Browser vorausgesetzt. Die webbasierten verwendeten Technologien in so einem Software-System ermöglichen zudem einen ziemlich sicheren Zugriff auf die benötigten Daten, die eben auch fortlaufend aktualisiert werden.⁵⁹

3.3.7 Innerbetrieblichertransport

Der interne Transport ist für die räumliche Überbrückung der Materialströme innerhalb des Fahrzeugwerkes zuständig. Der Aufgabenbereich erstreckt sich von der Materialeinstellung am Arbeitsplatz bis zur Entladung der angelieferten Waren im Wareneingang. Die Entscheidung für ein bestimmtes Transportkonzept erfolgt teile-, baugruppen- oder taktspezifisch.

Fördermittel sind die technischen Transportmittel, die innerhalb von Betriebsbereichen das Fördern leisten (z.B. innerhalb eines Werkes).⁶⁰ Fördern ist das „Fortbewegen von Arbeitsgegenständen in einem System.“⁶¹ Innerbetriebliche Transport- und Fördersysteme haben die Aufgabe, die Raumüberwindung (Ortsänderung) von Objekten innerhalb des Unternehmens bzw. innerhalb der Betriebsstätte vorzunehmen.

„Die Auswahl eines geeigneten Transportkonzepts hängt von den Bestimmungsfaktoren Transportgut, Transportmenge, Transportfrequenz, Transportstrecke sowie den strukturellen und gesetzlichen Rahmenbedingungen des Logistiksystems ab.“⁶² Die Planung eines wirksamen internen Transports ist nicht

⁵⁹ vgl. Oliveira et.al. (2015), S.6095

⁶⁰ vgl. Jünemann, Schmidt (2000), S.850

⁶¹ VDI Richtlinie 2411 (1970)

⁶² F.Klug (2010), S.183

einfach; oftmals können dabei menschliche Fehler auftreten. Doch wenn ein benötigtes Teil nicht rechtzeitig ans Band geliefert ist, wird wahrscheinlich die gesamte Produktion verlangsamt werden.

Die wichtigsten Transportmittel in der internen Logistik sind Stapler, Schleppzug und fahrerlose Transportsysteme. Nach Florian Klug werden die innerbetrieblichen Transportkonzepte in vier Gruppen unterteilt:⁶³

- Stapler-Transport
- Schleppzug-Transport
- Fahrerloses Transportsystem
- Flurungebundene Transportkonzepte

3.3.7.1 Stapler-Transport⁶⁴

Stapler bilden das flexibelste innerbetriebliche Transportsystem im Unternehmen. Aufnehmen, Heben, Transportieren, Senken, Abstellen von Behältern sind alles Arbeiten, die mit einem Gabelstapler erledigt werden können. Stapler können sowohl im Lager zur Ein- und Auslagerung des Wareneinganges als auch für das Be- und Entladen der LKW benutzt werden. Haupteinsatzgebiet für Stapler ist das Auf- und Abstapeln von Paletten. Abhängig von ihrer Antriebsart können elektrische, verbrennungsmotorische und hybride Staplerantriebe unterschieden werden. Die Fahrtroute eines Staplers entspricht dem Taxi-Prinzip, bei dem Material an einem Beladepunkt aufgenommen, anschließend transportiert und am Entladepunkt wieder abgesetzt wird.

Der Staplereinsatz ist nicht für größere Transportentfernungen sowie Transportvolumen gedacht. Wenn es eine größere Transportentfernung gibt, sinkt die Vorteilhaftigkeit des Staplereinsatzes. Es gibt auch weitere Anforderungen im Bereich der schlanken Logistik, die den Einsatzbereich von Staplern in der Praxis einschränken.

⁶³ ebendort

⁶⁴ ebendort

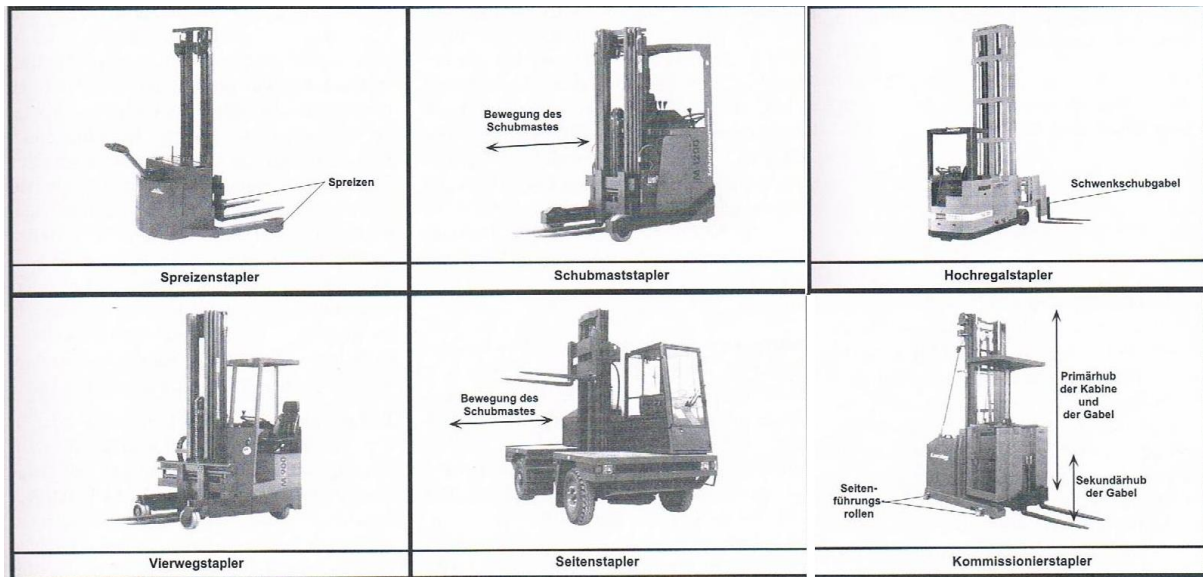


Abb.4: Bauarten von Gabelstaplern⁶⁵

3.3.7.2 Schleppzug Transport⁶⁶

Die Schleppzüge sind meist über längere Strecken eingesetzt. Bei der Schleppzug-Bereitstellung werden mehrere Lastanhänger mit Hilfe manuell bedienter Schlepper oder einem Fahrerlosen Transportsystem-Schlepper gezogen. Es gibt mehrere Modelle von Schleppzügen wie: elektro-, verbrennungsmotor- oder hybridgetriebene. Abhängig vom Einsatzbereich in der Halle oder im Außenbereich wird jede Fabrik die ideale Form von Schleppzug wählen.

Die zentrale Aufgabe des Schleppzuges ist die Sicherstellung eines kontinuierlichen und gleichmäßigen Materialflusses im Prozessablauf. Eine andere wichtige Aufgabe ist die Kompensierung von Bedarfsschwankungen an der Montagelinie. Die Fahrtroute eines Schleppzuges entspricht dem Busprinzip.

⁶⁵ Quelle: Bopp (2012), S.231

⁶⁶ vgl. F.Klug (2010), S.184



Abb.5: Schleppzug⁶⁷

Für den getakteten Routenverkehr müssen vor dem Transport die Materialmengen bereitgestellt und die Zyklen definiert werden. Da die Schleppzüge höheres Volumen pro Fahrt transportieren können, reduziert sich die Anzahl der innerbetrieblichen Fahrten und die Anzahl von Kreuz- und Querfahrten. Dieses führt zu einer Reduzierung der Unfallgefahr. Gleichzeitig kann die Breite der Fahrstraße reduziert werden und der Schleppzug im Einbahnstraßenverkehr geführt werden.

Die Laderoute mit den jeweiligen Be- und Entladepunkten muss allerdings auch vor Transportanfang geplant werden. Nach ihrer Anordnung im Zug, werden die Trailer sukzessiv durchnummeriert. Alles wird ausreichend gekennzeichnet. Der Prozessablauf und die Routen des Schleppzugverkehrs mit den entsprechenden Bahnhöfen bzw. definierten Haltestellen muss im Hinblick auf einen reibungslosen Ablauf gut erkennbar visualisiert werden.

3.3.7.3 Fahrerlose Transportsysteme

Ein fahrerloses Transportsystem (FTS) integriert darüber hinaus die Komponenten Leitsteuerung, Einrichtungen zur Standortbestimmung, Lageerfassung und Datenübertragung sowie die Infrastruktur einschließlich weiterer peripherer

⁶⁷ Quelle: <http://img.logismarket.de/ip/goetting-automatisierung-von-serienfahrzeugen-rueckwaerts-fahrender-autonomer-schleppzug-auf-der-hannover-messe>, zuletzt geprüft am 23.03.2015

Einrichtungen.⁶⁸ Weil sie keine Fahrer haben, sind die FTS mit Sensoren ausgestattet, sodass die erforderliche Erkennung von Hindernissen oder Personen gewährleistet ist.⁶⁹



Abb.6: Fahrerlose Transportsysteme⁷⁰

Das FTS besteht aus vier Komponenten: Fahrzeug, Fahrkurs, Lastübergabe und Anlagensteuerung. Optische oder induktive Verfahren, Magnetmarken und Transponder ermöglichen die Steuerung dieses Transportsystems.

Die Vorteile des FTS - so eine Gliederung von Heinrich Martin - sind:⁷¹

- Flexible Fahrkursführung
- Einfache Erhöhung der Transportkapazität
- Freibleibende Transportwege
- Automatisierung des Materialflusses
- Verbesserung der Arbeitsbedingungen
- Möglichkeit des nachträglichen Einbus
- Sicherer und schonender Transport

Große Vorteile wie Flexibilität bei gleichzeitiger Verkehrsberuhigung sind zwar gegeben, doch sind die hohen Investitionskosten zur Einführung eines solchen

⁶⁸ vgl. VDI-Richtlinie 2510, S.6f

⁶⁹ vgl. G.Ulrich (2014), S.130

⁷⁰ Quelle: F.Klug (2010), S.190

⁷¹ vgl. H.Martin (1998), S.234

Systems nachteilig. FTS benötigen zudem einen erhöhten Flächenbedarf und haben wohldefinierte Ladekapazitäten.

3.3.7.4 Flurungebunder Transport⁷²

Die Flurungebunden Transportsysteme können in drei wichtigen Kategorien geteilt werden:

- Kran

Mit Hilfe eines Krans können die Materialien oder Teilkomponenten in vertikaler und horizontaler Bewegung transportiert werden. Die Richtung ist beliebig und die Bewegungen können simultan ausgeführt werden. Ein wichtiger Einsatzbereich für Kräne ist das Presswerk. Hier werden tonnenschwere Presswerkzeuge sowie Stahl-Coils und Platinen-Pakete gehandhabt. Die Kräne im Presswerk sind flurfrei über dem Arbeitsraum montiert. Bei der Kommissionierung, wenn die Gewichtsgrenzen beim sonstigen Heben von Bauteilen überschritten werden, werden ebenfalls Kräne eingesetzt.

- Hängeförderer

Der Hängeförderer transportiert die Fördergüter über eine an der Hallendecke oder an Stützen befestigte Schiene. Es gibt drei Arten von Hängeförderern: Kreisförderer, Power-and-Free-Förderer und Elektrohängebahnen. Ein großer Vorteil der Hängeförderer ist die Flurungebundenheit. Mit Hilfe dieser Förderart werden die ansonsten nicht genutzten Hallendeckenbereiche durch die Förderstrecken belegt. Nachteile bei der Nutzung von Hängeförderer sind die hohen Investitions- und Wartungskosten sowie die komplexe Steuerungslogistik. Ein Beispiel für die Benutzung eines Hängeförderers in der internen Transportlogistik ist der Transport von Schweißgruppen an die Aufbaulinie im Karosseriebau.

- Rohrpostanlagen

Mit Hilfe von luftdruckbetriebenen Rohrpostanlagen werden Serien- und Ersatzteile von 5 bis 10 kg mit einer Geschwindigkeit von 6 bis 10 m/s intern transportiert. Die Vorteile dieser Anlagen sind geringere Investitionskosten und ihre leichte Verfügbarkeit. Sie werden beispielsweise bei der Anlieferung unterschiedlicher Schließsysteme benutzt.

⁷² vgl. F. Klug (2010), S.190

3.3.8 Zuführungsprinzipien

Die Zuführung benötigter Materialien ist ein zentrales Element eines Betriebsstoffversorgungssystems. Der Begriff „Materialien-Zuführung“ bezieht sich darauf, wie die Teile angeordnet werden, wenn sie an die Montagelinien geführt und abgestellt werden. Dieses Procedere kann sowohl die Materialversorgung als auch die Empfangsoperationen an den Montagevorgängen beeinflussen.

Die Prinzipien der Materialien-Zuführung sind eng mit dem Rest der innerbetrieblichen Materialversorgung verbunden. Eine Änderung in der Materialien-Zuführung wird wahrscheinlich praktisch alle anderen Aspekte der innerbetrieblichen Materialversorgung beeinträchtigen. Es gibt vier Prinzipien, die heutzutage am häufigsten in der Massenproduktion und Montage Anwendung finden: Kitting, kontinuierliche Versorgung, Batch-Supply und Sequenzierung.

In seinem Modell (Abb.13), unterscheidet Johansson die Materialversorgungssysteme in Bezug auf die Auswahl von Artikelnummern sowie auf die Art und Weise der Sortierung von Teilen an den Montagestationen. Das Modell zeigt drei wichtige Zuführungsprinzipien: kontinuierliche Versorgung, Batch-Supply und Kitting.

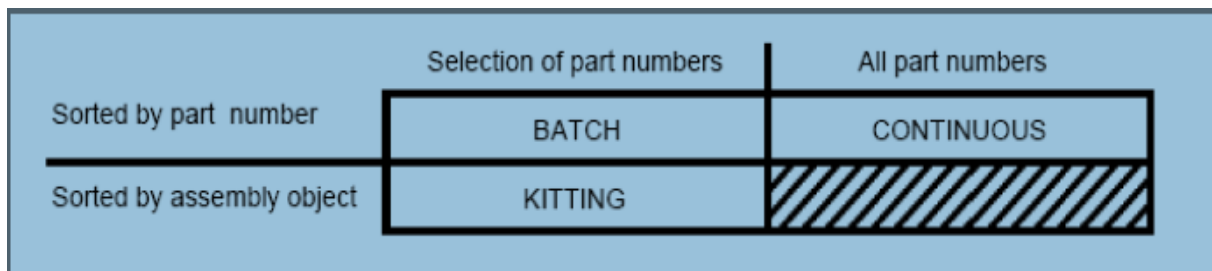


Abb.7: Zuführungsprinzipien⁷³

- Die kontinuierliche Versorgung stellt alle Teilenummern an der Montagelinie dar. Das Material wird durch Teilnummern sortiert und an das Montageband in geeigneten Einheiten für die Handhabung verteilt.
- Die Batch-Versorgung stellt nur eine Auswahl an Teilenummern auf der Montagestation dar, die zu einer Reihe von spezifischen Montageobjekten verbunden sind. Ähnlich wie kontinuierliche Versorgung wird bei der Batch-Versorgung nach Artikel-Nummern sortiert.
- Kitting bedeutet, dass das Material nach dem Bedarf des zu montierenden Objekts bereits sortiert an die Montagestation gebracht wird. Das bedeutet, dass ein Kit einen Satz von Artikelnummern für ein geeignetes Objekt enthält. Ein Kit entspricht einem Bausatz, der an die Montagelinie transportiert wird. Die Kits werden in der Reihenfolge, in der sie zusammengesetzt werden

⁷³ Quelle: Johansson (1991), S.12

sollen, geliefert. Ein oder mehrere Kits können einer Montagestation gleichzeitig zugeführt werden.

Kitting

Kitting rückt immer mehr in den Aufmerksamkeitsfokus der Automobilindustrie und kann eine Alternative zur kontinuierlichen Versorgung sein. Bei der Verwendung des Kitting-Systems wird die Vorratshaltung bei den Montagestationen minimiert, weil die am spezifischen Bedarf orientierten passenden Teile an die Montagelinien geliefert werden. Teile, die für die Gruppe zu, Bau eines Objekts benötigt werden, sind also gruppiert (kitted) und liegen in einem Kit-Behälter.⁷⁴

Kitting bedeutet demnach eine bestimmte Sammlung von Komponenten und Baugruppen, die zusammen einen oder mehrere Montageschritte für ein bestimmtes Produkt oder einen Produktionsauftrag unterstützen. Es ist ein Prozess, bei dem individuell getrennte, aber miteinander verbundene Elemente gruppiert, verpackt und zusammen als eine Einheit geliefert werden. Kitting erfordert im Vorfeld einen zusätzlichen Arbeitsschritt im Vergleich zur kontinuierlichen Versorgung⁷⁵. Die Teile müssen an geeigneter Stelle im Materialzuführungsprozess in Baugruppen sortiert werden. Mittels Kitting kann flexibler auf Änderungen der Montagelinie eingegangen werden, weil kein Material, das ein Kit enthält, separat der Montagelinie zugeführt werden muss. Da umgekehrt auch nur die benötigten Teile für jede Baugruppe zur Endmontage gebracht werden, kann die Produktionsfläche reduziert sowie die Kontrolle verbessert werden.

Kitting ist besonders empfehlenswert bei einer Montagestation, bei der die Gesamtzahl der Komponenten, einschließlich der Anzahl von Varianten, groß ist. Das Kitting kann entweder von einem Assembler oder durch einem Kommissionierer durchgeführt werden; die Kitting-Aktivität kann in einem zentralen Kommissionier-Lager oder in dezentralen Gebieten in der Nähe der Montagestationen durchgeführt werden. Wenn der Assembler selbst für die ganze Arbeit verantwortlich ist, wird die Kommissionier-Genauigkeit höher sein, weil er ein besseres Verständnis für die Teilenummern in den Montagevorgängen hat.⁷⁶

Es gibt einen speziellen Fall von Kitting, der für das Verständnis des Szenarios relevant ist, welches in dieser Arbeit behandelt wird: das In-house-kontrollierte Supermarkt-basierte Kitting. Alle benötigten Komponenten werden aufgenommen und in einem zentralen Lagerraum aufbewahrt. Solche Supermärkte werden an geeigneten Stellen überall in der Montagehalle aufgestellt. Der tägliche Bedarf an Teilen sowie die bekannten Lieferzeiten im Vorfeld werden verwendet, um die

⁷⁴vgl. E.Karlsson et.al. (2011), S.1

⁷⁵ vgl. Bozer, Mc Ginnis (1992), S.1-19

⁷⁶ vgl. Brynzer, Johansson (1995), S.115-125

optimalen Lagerbestände zu bestimmen. Kanban-Karten werden benutzt, um die Supermärkte wieder aufzufüllen. Bestimmte Mitarbeiter sind für das Sammeln und die Konvertierung von Kanban-Karten in die Nachschubaufträge, die an den zentralen Lagerraum gesendet werden, verantwortlich.⁷⁷

3.4 Industrie 4.0

Industrie 4.0, oder die vierte industrielle Revolution, kann gewissermaßen als nächster Schritt in der Entwicklung der Menschheit angesehen werden und wird die industrielle Welt, die wir heute kennen, revolutionieren. Die erste industrielle Revolution war die Einführung mechanischer Produktionsanlagen in Produktionsprozesse in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts und am Anfang der 19. Jahrhunderts. Durch den elektrischen Strom und durch die Einführung einer arbeitsteiliger Massenproduktion manifestierte sich die zweite industrielle Revolution. Die dritte „digitale“ Revolution trug aufgrund des Einsatzes von Elektronik und Informationstechnologie zu einer großen Entwicklung der Industrie bei und führte zur weiteren Automatisierung der Produktion seit den siebziger Jahren.⁷⁸

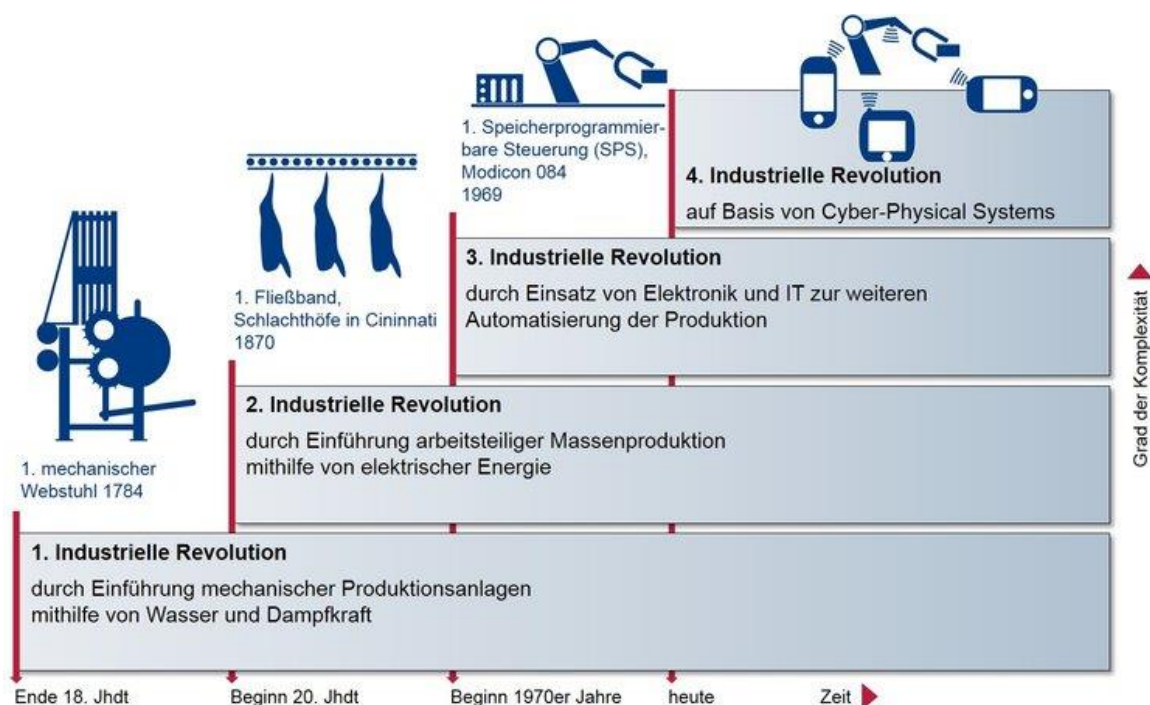


Abb.8: Die 4 Schritte der industriellen Revolution⁷⁹

Die Idee des Programms *Industrie 4.0* wurde im Jahr 2011 geboren, als eine Gruppe von Geschäftsleuten, Wissenschaftlern und deutschen Politikern eine Lösung zur

⁷⁷ vgl. R.Vujosevic et al., S.2

⁷⁸ vgl. T.Bauernhansl et al., (2014), S.6f

⁷⁹ Quelle: H.Kagermann et al., 2013, S.13

Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Produktionsindustrie zu suchen begannen. Die bundesdeutsche Regierung nahm das Projekt in die Initiative „High-Tech Strategie 2020 für Deutschland“ auf, in der Hoffnung, dass dieses neue Programm der Produktionsindustrie vor allem im Hinblick auf die Entwicklung innovativer Methoden, Auftrieb geben werde.⁸⁰

Industrie 4.0 kann als eine Summe von Technologien und Konzepten für die Organisation der Werkschöpfungskette verstanden werden. Es soll die Erstellung einer modularen intelligenten Fabrik ermöglichen, die mit CPS-Technologie in eine virtuelle Welt übersetzt werden kann. Diese Virtualisierung der Anlagen und Prozesse solle zu einer Dezentralisierung in der Fabrik führen. Mit Hilfe eines Internets der Dinge kommunizieren und kooperieren alle cyber-physikalischen Systeme in Echtzeit untereinander und mit den am Produktionsprozess beteiligten Menschen. Neben dem Internet der Dinge gibt es auch ein Internet der Dienste, die das Angebot von sowohl von internen als auch zwischenbetrieblichen Dienstleistungen ermöglicht.⁸¹

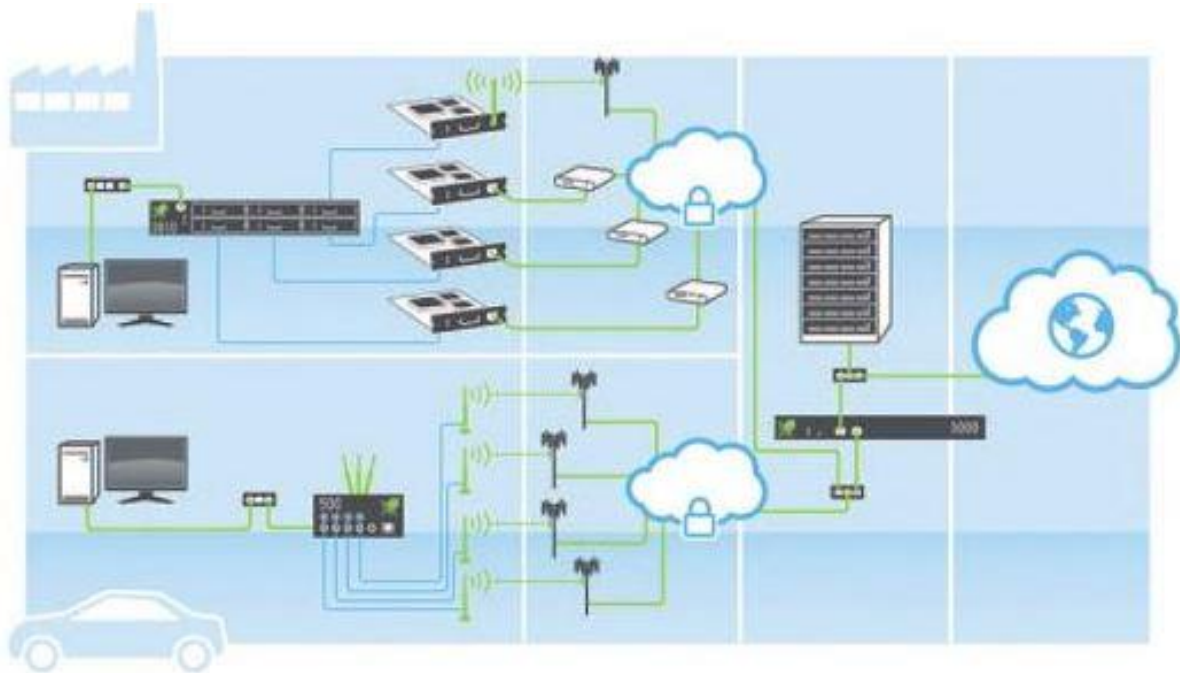


Abb.9: Maschinen-Maschinen-Kommunikation⁸²

Industrie 4.0 hat als Ziel, eine intelligente Fabrik zu entwickeln und aufzubauen. Dieses Programm erlaubt eben die Gestaltung einer virtuellen Kopie von der physischen Welt und setzt auf dezentrale Entscheidungen.

Die wichtigsten Merkmale von *Industrie 4.0* sind: Interoperabilität, Virtualisierung, Dezentralisierung, Echtzeit-Fähigkeit, Orientierung an Dienstleistungen und

⁸⁰ Bundesministerium für Bildung und Forschung, Ideen.Innovation.Wachstum, (2010)

⁸¹ vgl. H.Kagermann et al., (2013)

⁸² Quelle: U.Sendler et al. (2013), S.11

Modularisierung.⁸³ Diese sechs Eigenschaften sind das, was dieses Programm als eine neue industrielle Revolution definiert. Interoperabilität ermöglicht den Menschen, mit diesen intelligenten Fabriken zu kommunizieren, was durch das Internet der Dinge und das Internet der Dienste zu schaffen ist. Was die Industrie in eine ganz neue Ebene bringt soll, ist die Kapazität dieses Programms die reale Welt in eine virtuelle Welt zu übersetzen. Die bislang letzte Generation von CPS hat die Fähigkeit, Entscheidungen zu treffen, sodass es zu einer Dezentralisierung kommen kann. Da so ein Fabriktyp modular gestaltet ist, soll eine höhere Anpassungsfähigkeit und eine Fragmentierung der Entscheidungen ermöglicht werden.⁸⁴

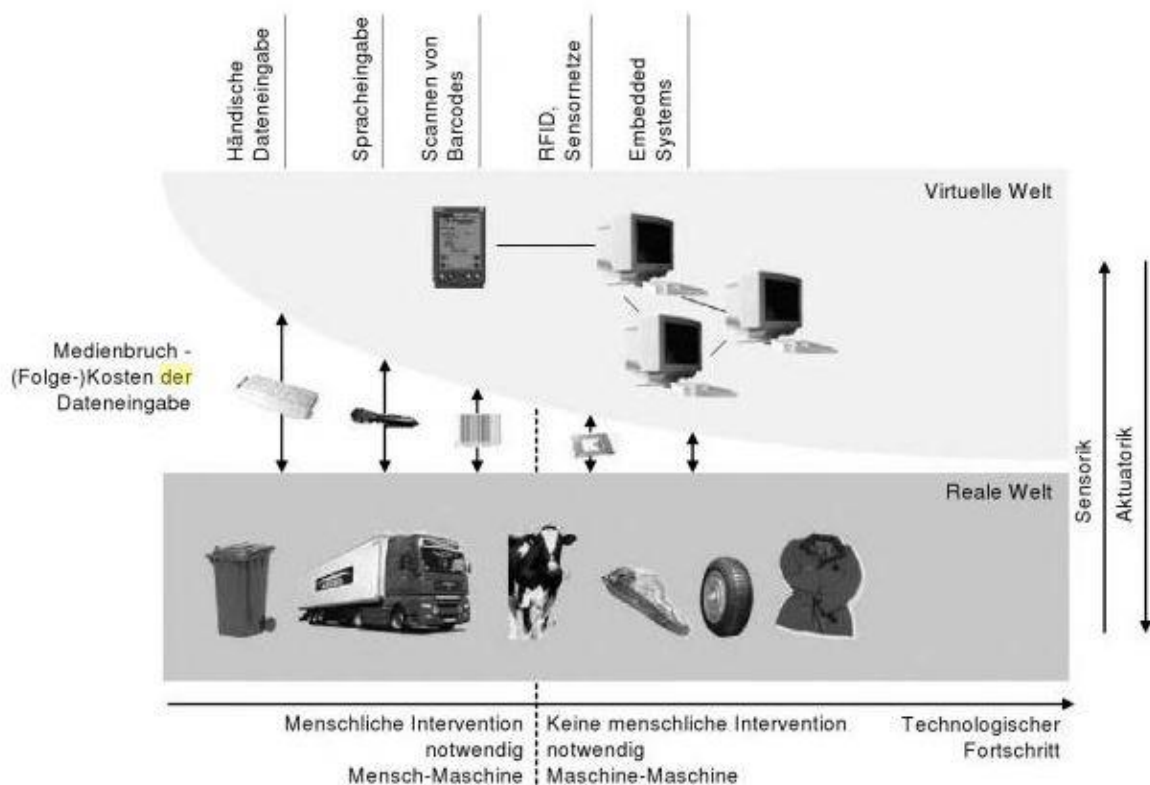


Abb.10: Integration von realer und virtueller Welt⁸⁵

Durch den Einsatz von fortschrittlichen analytischen Informationen, werden die vernetzten Maschinen effektiver und flexibler miteinander arbeiten. Sie werden in der Lage sein, Fehler in Echtzeit zu erkennen und Maßnahmen zu ergreifen, um diese zu entfernen. All dieses werde zu kürzeren Produktionszeiten und zu einer Fabrik führen, in der alles in Sekunden gemessen wird. Das charakterisiert die jüngste Generation der Fertigungsindustrie.

Industrie 4.0 bietet wichtige Verbesserungen: die wachsende Leistung, der Wert der Vernetzung, die Dezentralisierung und die Autonomie. Maschinen werden wie Menschen Dienste leisten. Software-Lösungen werden auf Dienstleistungen

⁸³ vgl. T.Bauernhansl et al., (2014), S.338

⁸⁴ vgl. M. Mikusz (2014), S.385

⁸⁵ Quelle: E.Fleisch, F.Matteern (2005), S.9

ausgerichtet sein, was zur Bezeichnung des Programms *Industrie 4.0* als service-orientiert führen kann.⁸⁶ Obwohl es eine hohe Komplexität besitzt und zur Dezentralisierung führen wird, zeigen Studien, dass die Transparenz in der Wertschöpfung sehr stark zunehmen wird.

Durch die Verkleinerung der Elektrogeräte, die Anwendung von Software-Technik, die Vernetzung der Informationssysteme und die fortgeschrittene Mechatronik wird eine zunehmende Leistungsfähigkeit bei sinkendem Platzbedarf, Hochleistungs-Programmiersprachen, Verschmelzung von physischer und virtueller Welt und intelligentem Verhalten durch Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) erreicht. All dieses führt zur Entwicklung von cyber-physischen Systemen, die eine Hauptkomponente der *Industrie 4.0* darstellen. Wie schon dargestellt, kann man das Internet der Dinge, das Internet der Dienste und die intelligente Fabrik als weitere Charakteristika aufzählen.⁸⁷

3.4.1 Cyber-physische Systeme (CPS)

Cyber-physische Systeme (CPS) erlauben die Zusammenlegung der physischen mit der virtuellen Welt, was einen Grundpfeiler im Programm *Industrie 4.0* darstellt. CPS sind als transformative Technologien für die Verwaltung von Verbundnetzen zwischen den physischen Vermögenswerten und Rechenfähigkeiten definiert.⁸⁸

CPS haben zwei wichtige Funktionsbauteile, Konnektivität und intelligente Daten. Mit Hilfe der Konnektivität wird eine Echtzeit-Datenerfassung aus der realen Welt gewährleistet und ein Feedback aus der virtuellen Welt gegeben. Das virtuelle Daten-Management ermöglicht die Erstellung eines Cyberspace durch Management-, Analyse- und Berechnungsfähigkeiten.⁸⁹

⁸⁶ vgl. T. Bauernhansl et al., (2014), S. 350

⁸⁷ ebendort

⁸⁸ vgl. R. Baheti et al. (2011), S.6

⁸⁹ vgl. Lee (2008), p. 363

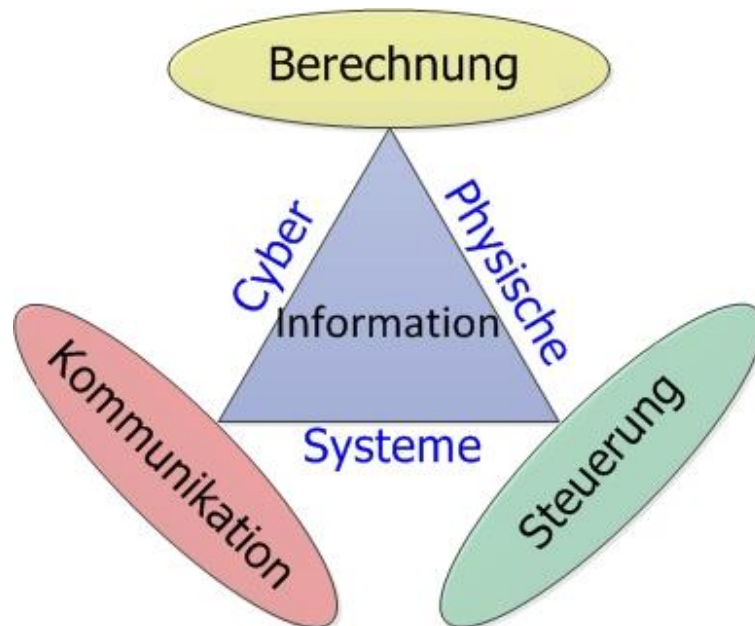


Abb.11: CPS-Eigenschaften⁹⁰

CPS sind eigentlich Objekte, Gebäude, Ausrüstungen, Geräte u.a. die Softwaresysteme aufgenommen haben, welche die Kommunikation und die Vernetzung ermöglichen. Durch die Verbindung dieser Softwaresysteme wird das Internet der Dienste geschaffen. CPS können die Elemente aus ihrer Umwelt mit Hilfe von Sensoren vernetzen. Durch die vernetzten Daten und mit Informationen aus dem Internet können CPS jedes Element diagnostizieren und steuern. Sie können mit Hilfe von Aktoren auf die Elemente der physischen Welt einwirken.

Diese CPS, die die Ansammlung und Analyse von Daten ermöglichen und Verbindungen schaffen, haben zwei Entwicklungsphasen durchgemacht. Die erste Generation von CPS sind die RFID, die eine eindeutige Identifikation ermöglichen. Die zweite Generation war mit Sensoren und Aktoren ausgestattet.⁹¹

J. Lee schlägt eine 5-Niveau-CPS-Struktur vor, nämlich die 5C-Architektur, die ein Schritt-für-Schritt-Leitfaden für die Entwicklung und Bereitstellung eines CPS für die Anwendungsmöglichkeiten für den Herstellungsprozess bietet. Im Allgemeinen besteht ein CPS aus den zwei Hauptfunktionskomponenten, der erweiterten Konnektivität und der Echtzeit-Datenerfassung der physischen Welt sowie einem intelligenten Datenmanagement samt Analyse- und Rechnungsfähigkeit.⁹²

⁹⁰ Quelle: <http://www.intechopen.com/books/deploying-rfid-challenges-solutions-and-open-issues/rfid-applications-in-cyber-physical-system> zuletzt geprüft am 16.04.2015

⁹¹ vgl. T. Bauernhansl et al. (2014), S.16 f.

⁹² vgl. J. Lee et al. (2015), S.17

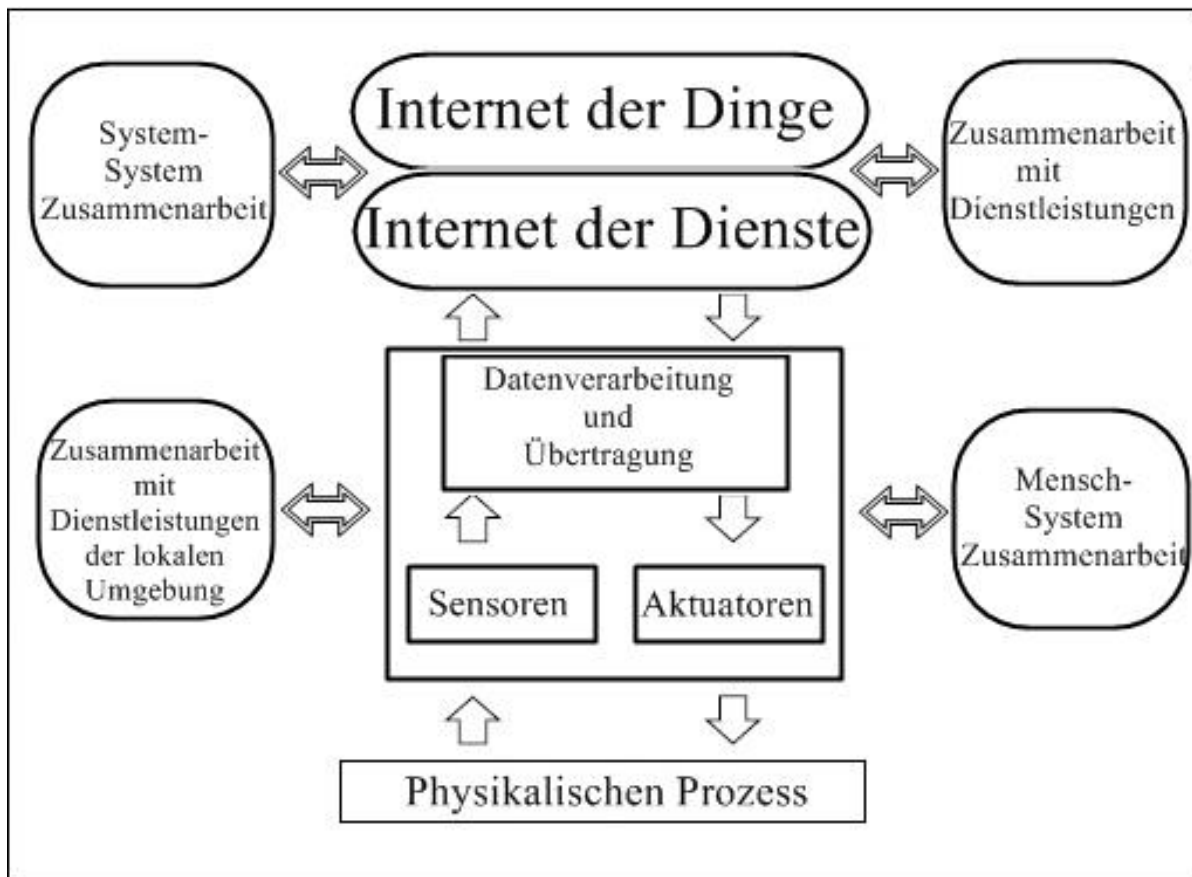


Abb.12: Struktur eines CPS⁹³

Das Potenzial der CPS, jeden Aspekt des Lebens zu ändern, ist enorm. Konzepte wie autonome Fahrzeuge, Roboter-Chirurgie, intelligente Gebäude, intelligente Stromnetze, intelligente Fertigung und Medizinprodukte sind nur einige Beispiele aus der gängigen Praxis.⁹⁴

Forscher und Unternehmer haben jedoch oft zu hohe und manchmal sogar übertriebene Erwartungen an diese CPS. Der Bau einer Fabrik, die sich selbst organisiert, wartet und repariert, grenzt fast an eine Utopie. Dies beweist zwar, dass unsere Zukunft endlich an die Tür klopft, aber berechnete Erwartungen wie Robustheit auf allen Ebenen, Sicherheit, Ferndiagnose, Echtzeitsteuerung, autonome Navigation, Transparenz, Berechenbarkeit und Effizienz müssen erfüllt werden.

⁹³ vgl. Quelle: M.Mikusz (2014), S.386

⁹⁴ vgl. L.Monostori (2014), S.9

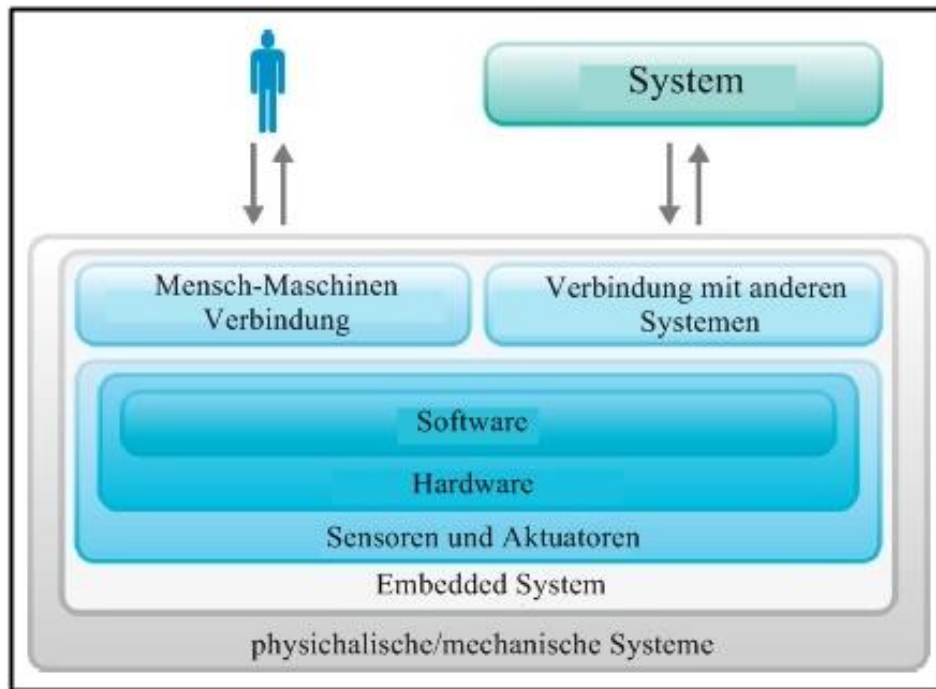


Abb.13: Mensch-Maschinen-Kommunikation⁹⁵

Obwohl das Programm *Industrie 4.0* wohl aufgrund hoher Investitionskosten zu höheren Preisen führen wird, beeindruckt es durch vereinfachte Produktionsprozesse. Die Rationalisierung wird nicht mehr so viel Bedeutung haben, die Chancen für eine Differenzierung werden hingegen zunehmen. In so einer intelligenten Fabrik wird auf die Standardisierung ein Hauptaugenmerk zu legen sein. Das Plattformkonzept wird auch eine wichtige Rolle spielen.

Diese CPS-Plattformen bilden dann die Basis, um die verschiedenen Internets miteinander zu verbinden: das Internet der Menschen mit dem Internet der Dinge und dem Internet der Dienste.⁹⁶ Das Internet der Menschen wurde bisher nicht erwähnt, weil es etwas ist, das bereits existiert. Die Kommunikation der Menschen in einem sozialen Netzwerk ist nichts Neues und wird schon heute praktiziert. Es gibt aber auch schon Software-Tools, die programmiert sind, um Daten von CPS-Plattformen zu übernehmen und zu analysieren. In Echtzeit können Menschen dann Entscheidungen treffen, die auf diesen Daten basieren. Auf der anderen Seite verwenden Maschinen Objekte und nutzen service-orientierte Dienste aus dem Internet.

3.4.2 Internet der Dinge

Das Internet der Dinge ermöglicht, „Dinge“ und „Objekte“ wie RFID, Sensoren, Aktoren und Mobiltelefone, die durch eindeutige Adressierung-Schemata miteinander

⁹⁵ vgl. L.Monostori (2014), S.11

⁹⁶ vgl. T.Bauernhansl et al. (2014), S.16

kommunizieren, als gemeinsame Ziele zu erreichen.⁹⁷ Das Internet der Dinge kann demnach als ein Netz von RFID, Sensoren, Mobiltelefonen und Laptop-Computern definiert werden, die untereinander für das Gelingen der Produktion kommunizieren, bezeichnet werden.

Mit Hilfe des Internets der Dinge werden die Techniker nicht mehr die Ausrüstungen von Hand programmieren, sondern werden Mobiltelefone nutzen, um alle Ausrüstungselemente in Echtzeit zu vernetzen. Die Maschinen werden also - wie Menschen in sozialen Netzwerken - miteinander kommunizieren und werden darüber hinaus in der Lage sein, sich selbst zu diagnostizieren, um Fehlfunktionen zu erkennen und über das Internet eine Lösung für auftretende Probleme zu finden. Sie werden mit Informationen und Ressourcen in Echtzeit aktualisiert und zudem jederzeit mit nur einem Klick optimiert werden können.

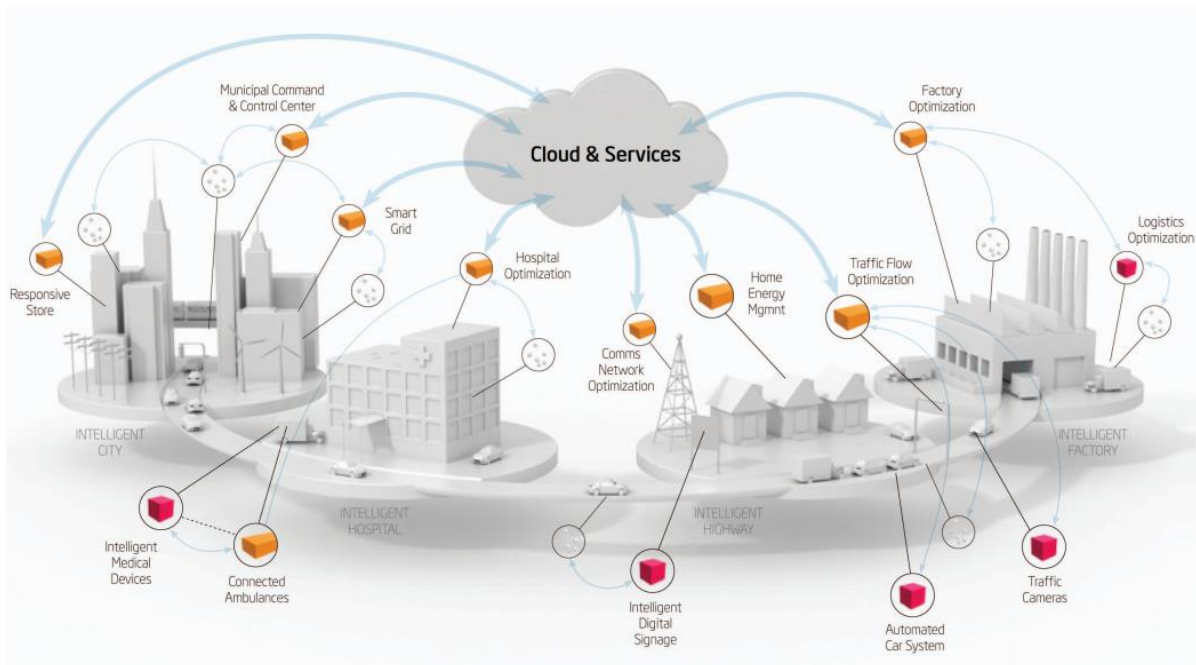


Abb.14: Internet der Dinge⁹⁸

3.4.2.1 RFID

Die RFID sind Informations- und Kommunikationstechniken, die es ermöglichen, Daten aus einem Mikrochip abzulesen und speichern. RFID haben zwei Hauptkomponenten: Transponder und Lesegeräte. Die Transponder sind Informationsträger und können Daten wie Ort des Objektes, Status des Objektes

⁹⁷ Giusto et al. (2010), S.V

⁹⁸ Quelle: <https://www.flip4new.de/blog/das-internet-der-dinge-alles-ist-moeglich-alles-kann-vernetzt-werden/> zuletzt geprüft am 05.04.2015

bzw. Status der Umwelt beinhalten und sind an den zu identifizierenden Objekten angebracht.⁹⁹

Die RFID-Transponder sind passiv oder aktiv. Bei den aktiven RFID ist der Datenträger mit eine Batterie ausgestattet und bei den passiven erfolgt die Energieversorgung über das elektromagnetische Feld des Schreibgerätes.¹⁰⁰

Im Gegensatz zum Barcode kommunizieren RFID-Tags mit Hilfe von Radiowellen und brauchen keine optischen Leseeinheiten. Dieses ist ein großer Vorteil, weil es ein Lesen durch die Verpackung hindurch ermöglicht.¹⁰¹

Im einen sehr vereinfachten Schema werden die RFID als Basis der Internet der Dinge stehen. Die RFID sind die Schlüssel zur Schaffung von intelligenten Produkten. Diese Produkte werden ein Tag haben, das alle Informationen beinhalten und die Server informieren wird. Die Server wiederum werden alle diese Informationen von der physischen Welt in die virtuellen Welt respektive in das Internet der Dinge übertragen.

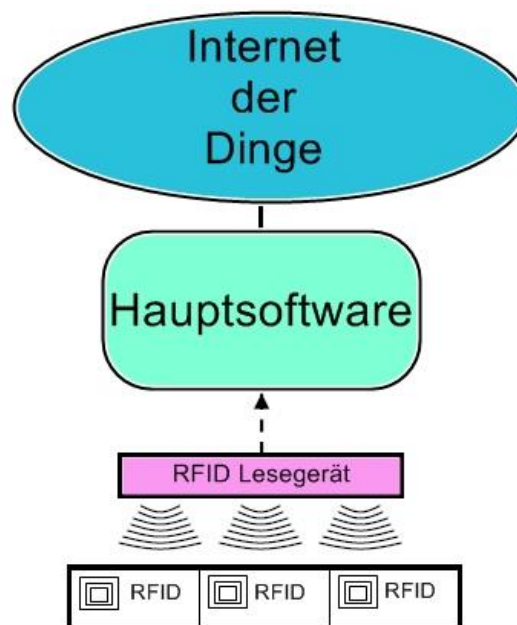


Abb.15: RFID als Basis des Internets der Dinge¹⁰²

3.4.3 Internet der Dienste

Das Internet der Dienste ist, so wie auch sein Name sagt, aus „Diensten“ gebildet. Dabei handelt es sich um eine Vernetzung zwischen den Dienstleistungsanbietern und Dienstleistungsnachfragern. Über verschiedene Kanäle können die Verbraucher

⁹⁹ vgl. S.Weigert (2006), S.22

¹⁰⁰ Ihme (2006), S.43

¹⁰¹ S.Weigert (2006), S.29

¹⁰² Eigene Darstellung

auf Dienstleistungen zugreifen, die von verschiedenen Anbietern zur Verfügung gestellt sind.¹⁰³ Diese Entwicklung ermöglicht eine neue Art der dynamischen Veränderung der Verteilung der einzelnen Wertschöpfungsaktivitäten.¹⁰⁴ Es wird angenommen, dass dieses Konzept die Grenzen der Fertigungsindustrie überwinden und in allen Bereichen der Dienstleistungen zur Anwendung kommen wird. Ein solches Netzwerk wird sicherlich die Auto- und Ersatzteilbestellungen vereinfachen.

Die Idee des Internets der Dienste war bereits im „Smart-Face“-Projekt erwähnt - im „Autonomics-for-Industry-4.0“-Programm. Die Zielsetzung war eine neue, verteilte Produktionssteuerung für die Automobilindustrie. Das Projekt basiert auf einer serviceorientierten Architektur.¹⁰⁵

3.4.4 Intelligente Fabrik

Alles, was *Industrie 4.0* darstellt, führt zur Entwicklung einer Fabrik, die Fähigkeiten wie Selbsterfahrung, Selbstvoraussage, Selbstvergleich, Selbst-Rekonfiguration und Selbstpflege hat. „Service Innovation“ und „Industrial Big Data“ sind die beiden Arten der innovativen Entwicklung, die die Entstehung dieser Fabrik ermöglichen sollen.

Diese sogenannte intelligente Fabrik wird mit Hilfe der CPS organisiert sein. Das zentrale Merkmal dieser Fabrik ist, dass sie die Daten in Echtzeit zur Verfügung haben kann. Die Daten werden aus der realen Welt mit Hilfe der CPS in die virtuelle Welt umgesetzt. Ein virtuelles Abbild der Realität wird geschaffen und permanent aktualisiert.

„Intelligente Fabriken bilden ein Schlüsselmerkmal der *Industrie 4.0*“.¹⁰⁶ Die intelligente Fabrik kann als eine Fabrik definiert werden, die mit kontextsensitiver Sicht, Menschen und Maschinen in der Ausführung ihrer Aufgaben hilft. Dies wird mit Hilfe von sogenanntem „Calm-Systems“, die im Hintergrund arbeiten, erreicht.

Das sogenannte „Industrial Ethernet“ gilt als eine ideale Netzwerkinfrastruktur für *Industrie 4.0*. Es ermöglicht die nahtlose Integration zwischen der Herstellung und der Unternehmensebene. Die Idee dieses Ethernets ist, dass jedes Gerät eine eindeutige IP-Adresse hat, die vom Software-Server erkannt wird, sodass jedes Gerät, das zum Kommunizieren programmiert ist, erreicht werden kann.¹⁰⁷

¹⁰³ vgl. Buxmann et al. (2009), S.341

¹⁰⁴ vgl. Platform Industrie 4.0, 2013, S.4

¹⁰⁵ vgl. Fraunhofer IML, 2014

¹⁰⁶ Kagermann et al. (2013), S.19

¹⁰⁷ vgl. R.Lounsbury (2008), S.3

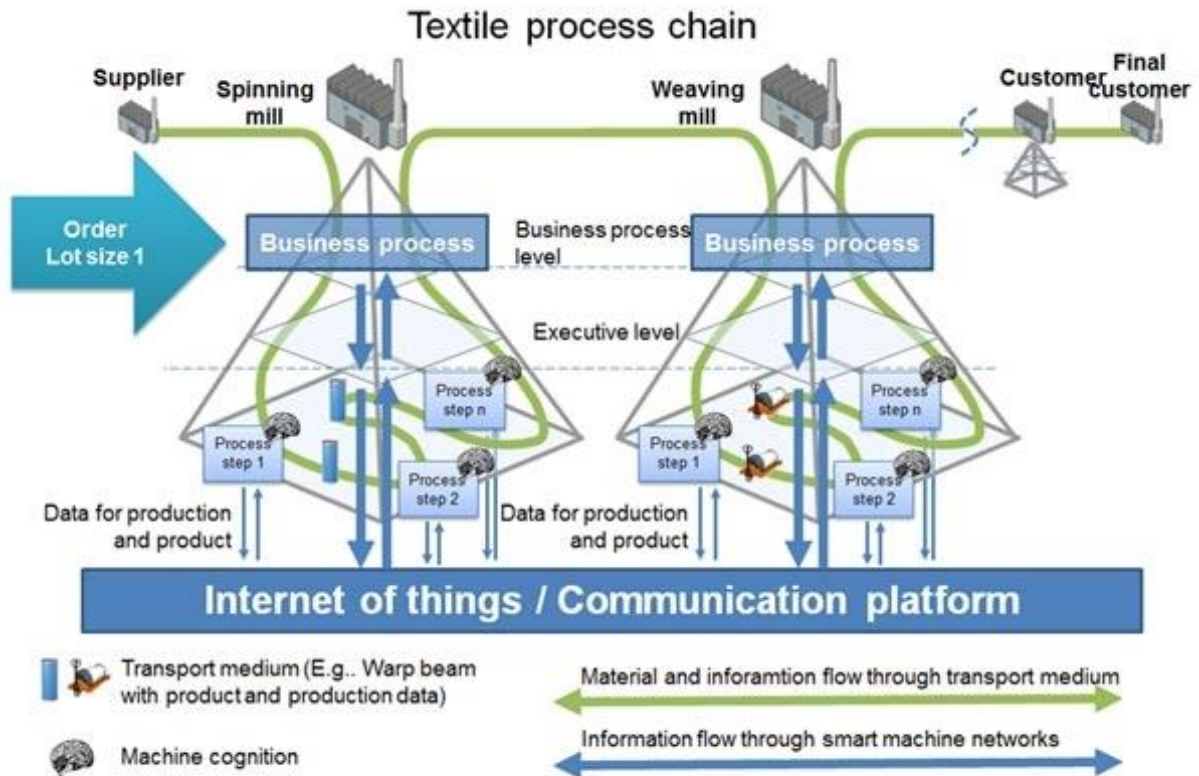


Abb.16: Beispiel einer intelligenten Fabrik¹⁰⁸

Es wird auch ein Überwachungssystem benötigt, das die cyber-physischen Systeme koordinieren und steuern soll. Dieses System wird aus allen zur Verfügung stehenden Informationen ein sinnvolles Bild erstellen. Es gibt bereits ein solches System, das so genannte „Enterprise Resource Planning“ (ERP). Das ERP wird die gesamte Organisation des Geschäftsprozesses unterstützen.¹⁰⁹

¹⁰⁸Quelle: http://www.textile-future.com/textile-manufacturing.php?read_article=1829 zuletzt geprüft am 12.04.2015

¹⁰⁹ vgl. A.Ragowsky, T.Sommers (2014), S.11-15

4 Stand der Technik in der Logistik der Automobilindustrie

Um die Anwendungen des Programms *Industrie 4.0* in der Automobillogistik besser darzustellen, wurden zwei Beispiele gewählt. In diesem Kapitel werden zwei logistische Prozesse analysiert, um einen besseren Überblick über den Stand der Technik in der heutigen Automobilbauindustrie zu schaffen. Anschließend werden diese Szenarien mit den Ideen der *Industrie 4.0* verglichen, um zu sehen, ob die durch dieses Programm erwarteten Vorteile erreicht werden können.

4.1 Szenario 1: Zuführungsprinzip bei *Saab*¹¹⁰

Das Szenario 1 beschreibt das Zuführungsprinzip für einen elektrischen Schalter bei einem Scheinwerfer (ESH) in einer *Saab*-Fabrik. Da für diese Arbeit nur der innerbetriebliche Prozess wichtig ist, wird dieses Szenario ohne weitere konkrete Informationen über den Produzenten oder Lieferanten beschrieben. Die Daten zu diesem Szenario entstammen der Master-Arbeit „A comparative study of the material feeding principles kitting and sequencing at *Saab Automobile*, Trollhättan: creation of guiding principles of which articles to be supplied with kitting“ von Erik Karlsson und Tobias Thoresson.

4.1.1 Lage des Montagewerkes

Die Lage des Montagewerkes kann wie folgt dargestellt werden:

- Die Montagelinie ist ein Mixed-Modell-Fließband.
- Die Teile werden von einem Sublieferanten geliefert.
- Das Zuführungsprinzip ist Kitting.
- Es gibt viele Mitarbeiter, die die Aufgabe haben, Teile aus der Aufnahmezone auf die Kitvorbereitungsbereiche bereit zu bringen.
- Es werden Stapler als Transport- und Kommissionierungsmittel verwendet.
- Es wird ein Supermarktprinzip für die temporäre Lagerung benutzt.
- Mitarbeiter werden die Kits in einem Kitvorbereitungsbereich zusammenstellen.
- Die transportierten Teile sind Komponente eines ESH.

Im Anhang 7.1 ist die räumliche Aufstellung der Produktionsanlage dargestellt, um ein besseres Verständnis des Prozesses zu ermöglichen. Es ist wichtig zu beachten,

¹¹⁰ vgl. E.Karlsson, T.Thoresson (2011), S.14-27

dass Fertigungsteile von Sublieferanten, die sich in der Nähe der Produktionsstätte befinden, geliefert werden.

Das nördliche Tor (1) wird für die Zuführung zum Armaturenbrett-Fließband benutzt und das Kanban-Tor (2) wird für die Zuführung zur Kanban-Lagerung verwendet; durch das südliche Tor (3) werden verschiedene Teile - wie zum Beispiel Antennen - geliefert, die auf der Hauptmontagelinie zusammengebaut werden.

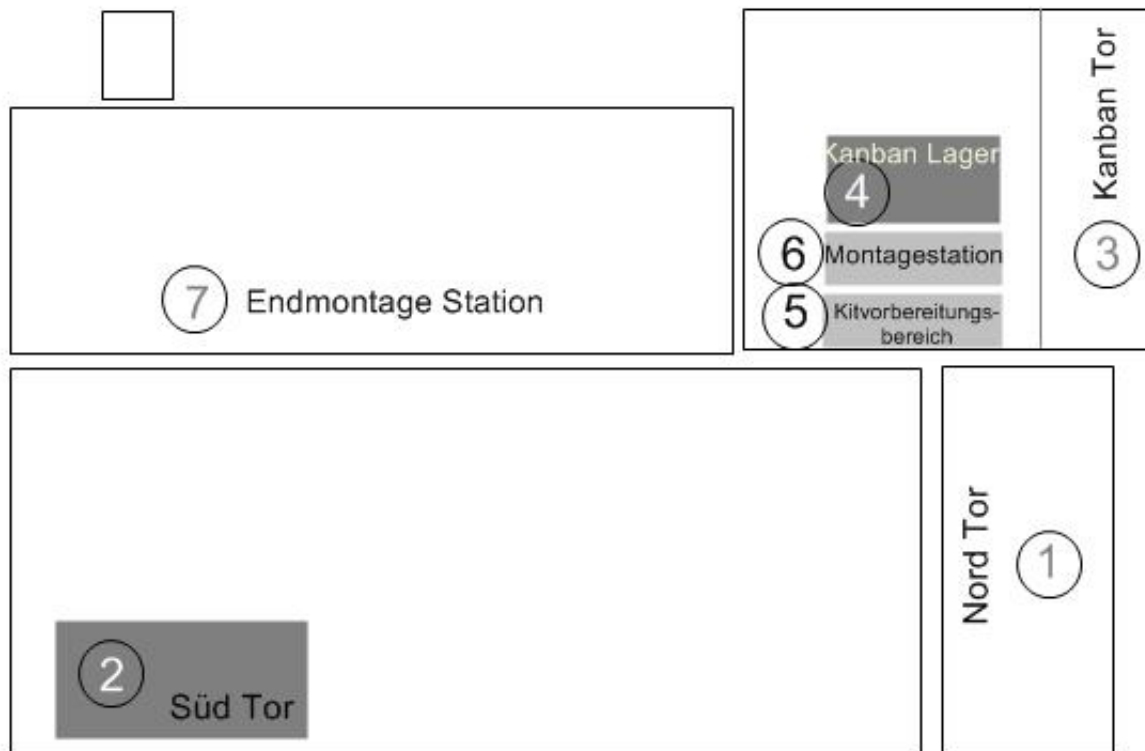


Abb 17: Vereinfachtes Schema zur räumlichen Aufteilung¹¹¹

Der Prozess läuft folgendermaßen ab: Es wird ein Behälter verwendet, der zusammen mit dem montierten Auto neben dem Fließband bewegt wird. Das zu verwendende Kit wird im Kit-Vorbereitungsbereich zusammengestellt. Arbeiter sortieren die Komponenten.

Kitting wird in der Regel in Fabriken, die keinen großen Lagerraum bei den Montagestationen haben, angewendet. Wenn eine große Anzahl von Elementen erforderlich ist, ist die Lagerung von Komponenten in Regalen neben der Montagelinie nicht durchführbar. Daher wählen die Hersteller oftmals Kitting-Zuführungsprinzipien. Diese werden noch im Zusammenhang mit den Bemerkungen zum Materialfluss genauer beschrieben.

¹¹¹ Quelle: vgl. E.Karlsson, T.Thoresson (2011), S.46

4.1.2 Die angewandte Technologie

- Behälter

Die Behälter fürs Kitting, müssen so beschaffen sein, dass darin möglichst viele Artikel gelagert werden können, was zu einer Verringerung der Behälterzahl führen wird. Dabei sollte ein Behälter nicht zu schwer werden, sondern leicht zu handhaben sein. Die Dimensionen des 7,2 Kilogramm schweren Behälters, der in diesem Beispiel benutzt wird, sind 800x400x200 mm.



Abb.18: Beispiel Behälter¹¹²

- Kitvorbereitungsbereich

Beim Kitting als Zuführungsprinzip ist der Platzbedarf an der Montagelinie reduziert. Dennoch braucht es im Kitvorbereitungsbereich eine ausreichend große Fläche zur Zusammensetzung der Kits für die Montage der Bauteile. Abhängig von der Anzahl der Artikel in den Behältern und der Anzahl der Behälter, die an den Montagestationen benutzt werden, variiert die Größe des Kitvorbereitungsbereichs. Die Antworten auf die Fragen, wie viel Material aufgenommen wird, wie hoch die Transportkosten sind und ob es einen freien Platz neben dem Fließband gibt, bestimmen die Standortgestaltung. Die Platzierung des Kitvorbereitungsbereichs neben der Montagelinie ist zu bevorzugen, weil es zu einer Minimierung des Transports führt. Auf der nachfolgenden Abbildung wird ein Vorbereitungsbereich für das Armaturenbrett gezeigt.

¹¹² Quelle: I.Orun (2012), S.72



Abb.19: Kitvorbereitungsbereich¹¹³

- Pick-to-light

Pick-to-Light-Systeme benutzen Leuchtanzeigen, um die Behälter an bestimmte Lagerorte zu lenken. Jeder Produktort hat eine eigene numerische oder alphanumerische Anzeige mit einem Licht, einer Bestätigungstaste und einer digitale Anzeige für die Menge. Die Präsentation der Artikel in den Materialregalen im Kitvorbereitungsbereich ist für die Kommissionierung optimiert. Pick-to-light wurde eingeführt, um die Kommissionierung zu erleichtern und mögliche Fehler zu vermeiden, die vom Picker gemacht werden könnten.



Abb.20: Beispiel Pick-to-light¹¹⁴

¹¹³Quelle: vgl. E.Karlsson, T.Thoresson (2011), S.17

- Stapler

Für die Kommissionierung und den Transport werden Stapler benutzt. Die Aufgabe des Staplers ist, die vom Lieferanten kommenden Paletten aus dem LKW abzuladen und die Teile vom Annahmehbereich zum Lagerungsbereich zu transportieren.

- Kanban-System

Die Materialien aus der Kanban-Lagerung werden nach dem Kanban-Prinzip zum Kitvorbereitungsbereich geliefert. Wenn der Kommissionierer eine neue Verpackungseinheit, die eine Kanban-Karte enthält, öffnet, legt er die Karte in eine Box. Diese Karte wird dann mit anderen Karten eingesammelt, nach der Sortierung werden die Karten an den Stapler-Führer weiter geben, der sie als Kommissionierungsliste verwendet.

4.1.3 Materialfluss

Die Auswahl dessen, welche Artikel mittels Kitting zugeführt werden können, hängt von mehreren Faktoren ab: die Materialempfindlichkeit, die Transportmöglichkeit in einem Kit-Behälter, die Möglichkeit zur direkten Montage eines Gegenstands oder eben der Bedarf eines anderen Werkzeugs, die Frage nach den einzusparenden Arbeitsschritten an der Montagestation und nach der Anzahl Varianten eines Artikels. Beispielsweise gibt es für das Armaturenbrett 65 Artikelfamilien, die für die Montagelinie gekittet werden.

Bei der Zuführung des elektrischen Schalters für Scheinwerfer sieht es folgendermaßen aus: Der ESH ist eine Komponente, die für jedes Auto sehr wichtig ist, denn der Schalter steuert das Stand- und Fahrtlicht sowie die Nebellichter. Diese Komponente gibt es in 22 Varianten - so zum Beispiel mit einem Volumen von 576 cm³ und einem Gewicht von 113,4 g.



Abb.21: ESH ¹¹⁵

¹¹⁴ http://build2light.com/images/photo_bestClass.png zuletzt geprüft an 12.05.2015

¹¹⁵Quelle: vgl. E.Karlsson, T.Thoesson (2011), S.25

3.1.3.1 Materialfluss beim Sublieferanten

Im dieses Fall ist der Materialfluss der Teile des ESH beim Sublieferanten etwas Besonderes, da sie nicht ins Lager gehen, die Paletten vom Lieferanten werden stattdessen nur vom LKW abgeladen, kontrolliert, markiert und auf einem anderen LKW geladen, der für den Transport ins Montagewerk bestimmt ist. Nach der Markierung der Paletten werden die Informationen direkt ins Herstellersystem eingepflegt; dann werden Kanban-Karten ausgedruckt und an jede Palette geheftet. Diese Kanban-Karten enthalten Informationen über den Lagerplatz im Montagewerk.

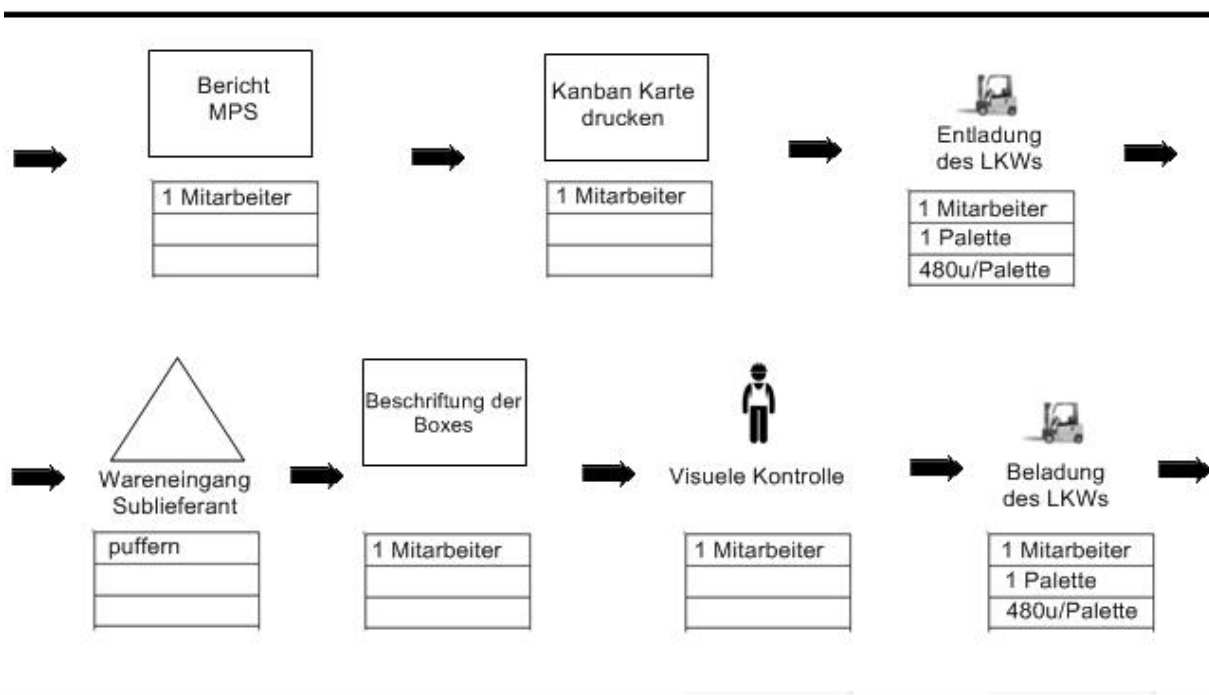


Abb.22: Materialfluss beim Sublieferanten ¹¹⁶

3.1.3.2 Materialfluss beim Montagewerk

Wenn der LKW beim Montagewerk ankommt, werden die Paletten mit Hilfe eines Staplers abgeladen. Im vorliegenden Fall wird der LKW unmittelbar neben dem Kanban-Lager entgeladen. Jede Palette enthält 16 Behälter mit 30 ESH. Der Entladeort ist so konzipiert, dass er dem durchschnittlichen Mittelwert des Vorrates gerecht wird. Alles, was die Lagerungskapazität überschreitet, wird in einen so genannten Überlaufbereich transportiert. Sobald der Abladeort geleert ist, werden die Paletten anhand des FIFO-Prinzip (First-in, First-out) aus der Kanban-Lagerung zugeführt.

¹¹⁶ Quelle: vgl. E.Karlsson, T.Thoresson (2011), S.55

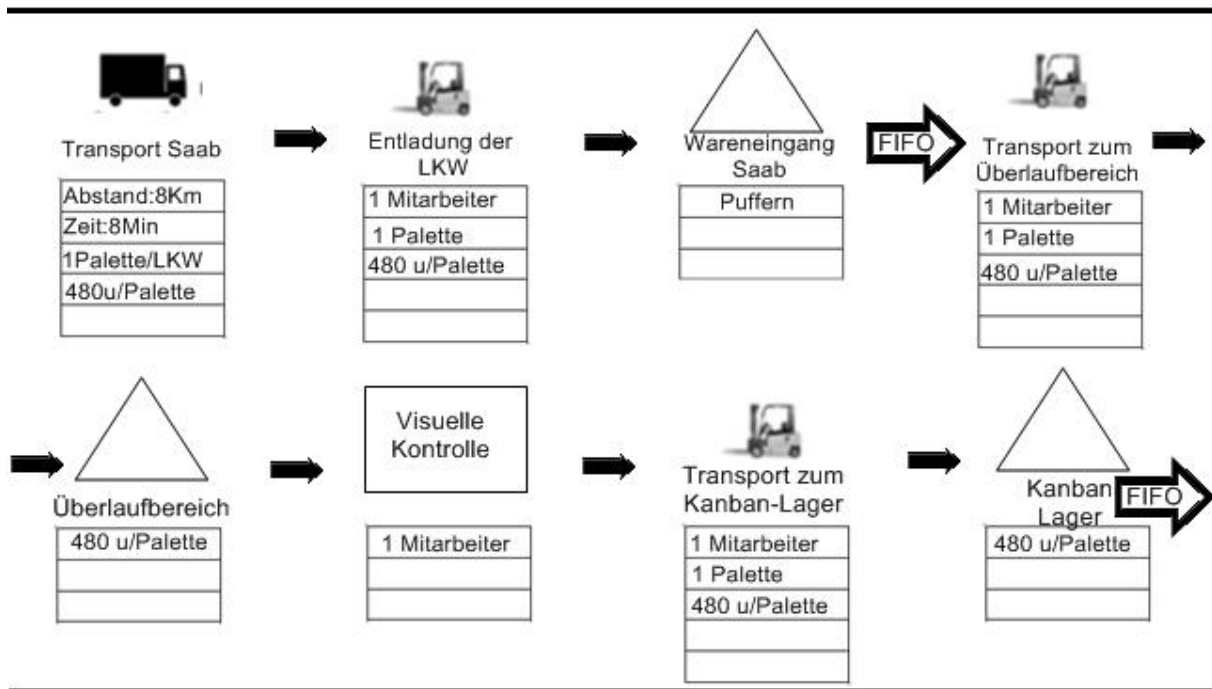


Abb.23: Materialfluss Saab 1¹¹⁷

Zwei Kisten werden abgeholt und zum Kitvorbereitungsbereich transportiert. Zur Minimierung der Kommissionierungsfehler zeigen entsprechende Indikatoren in Form von Leuchten über dem Kommissionierungsstandort dem Kommissionierer, an welche Variante wo abzuholen ist.

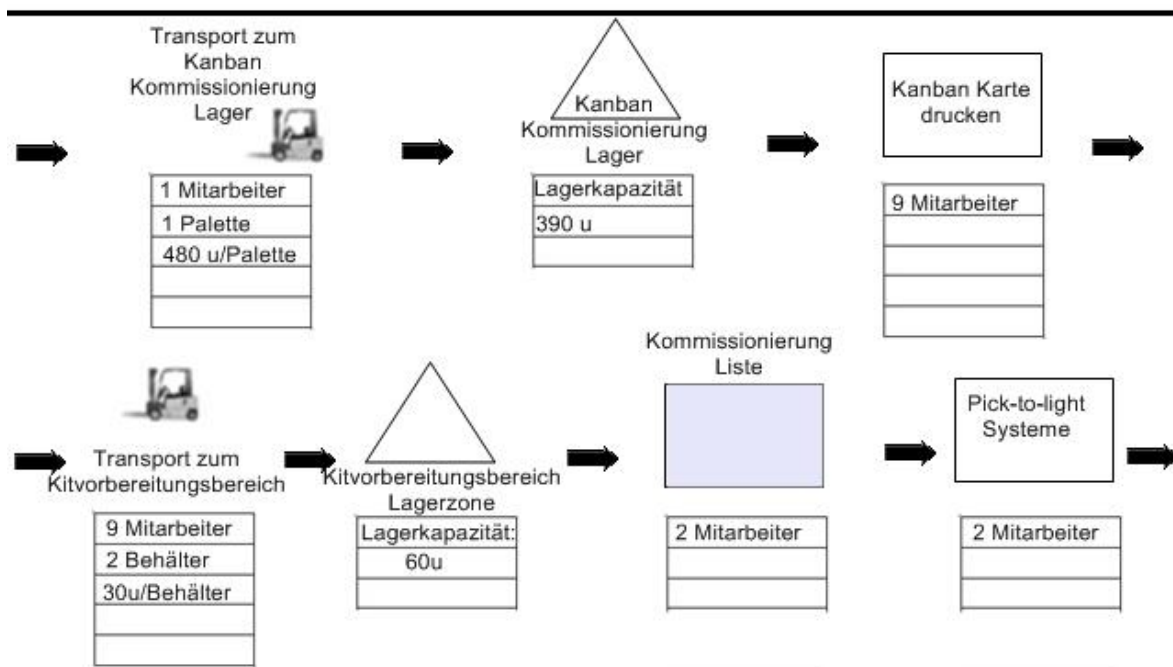


Abb.24: Materialfluss Saab 2¹¹⁸

¹¹⁷ Quelle: vgl. E.Karlsson, T.Thoresson (2011), S.56

¹¹⁸ ebendort, S.56

Der Artikel wird dann im Kit angebracht. Wenn ein Behälter leer ist, wird der Staplerfahrer, der auch für die Auffüllung der Kits verantwortlich ist, die leeren Behälter abführen und durch volle ersetzen. Der Monteur an der Montagelinie nimmt ein Kit und legt es in eine Halterung neben dem Montageobjekt. Dies erleichtert die Montage und reduziert die Menge der Schritte, die der Monteur machen muss.

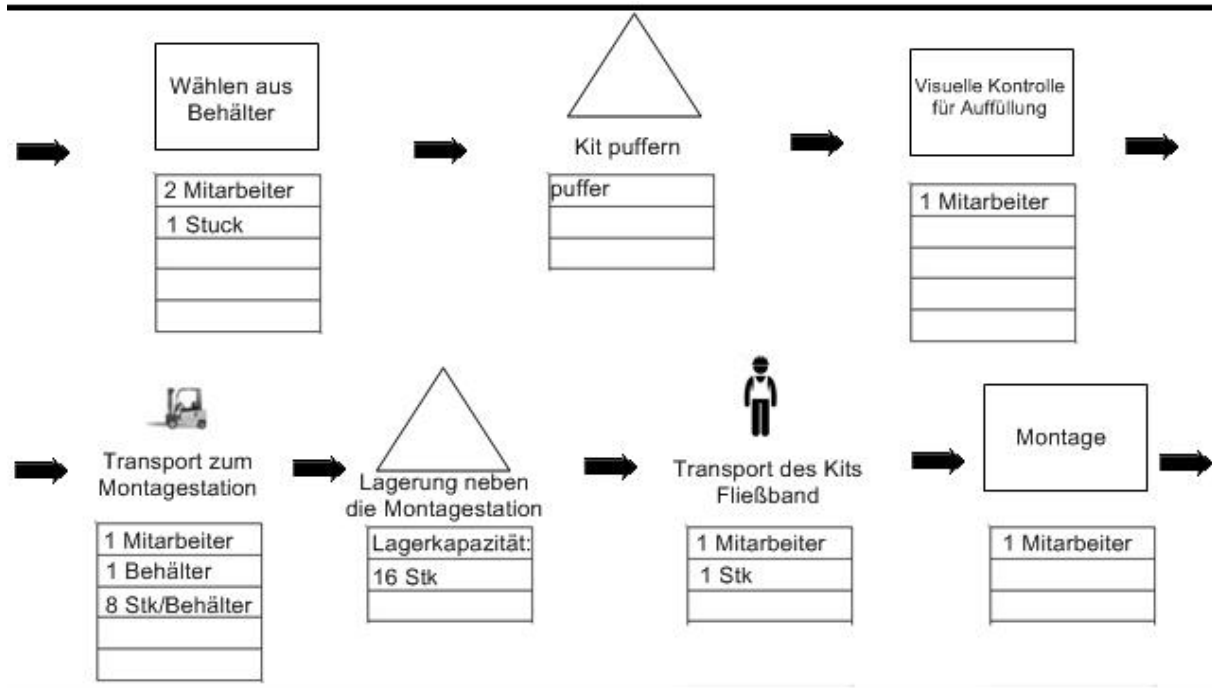


Abb.25: Materialfluss Saab 3¹¹⁹

Dieses Beispiel wurde ausgesucht, um die Komplexität einer Kommissionierung durch solch ein Zuführungsprinzip darzustellen. Anhand der Tabellen kann man die Vor- und Nachteile dieses Systems erkennen:

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Minimierung der Vorräte an den Montagestationen • Notwendigkeit einer zusätzliche Handhabung • höhere Flexibilität bei Änderungen an der Montagelinie • Reduzierung der Produktionsfläche sowie die Erhöhung der Kontrolle 	<ul style="list-style-type: none"> • Bedarf einer gesonderten Kitting-Fläche • Gefahr einer höheren menschlichen Fehlerquote • Entwicklung hin zu einer Standardisierung von Teilen

Tabelle 1: Vor- und Nachteile des Kitting Prinzips¹²⁰

¹¹⁹ Quelle: vgl. E.Karlsson, T.Thoresson (2011), S.56

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • systematischer Ansatz zur Identifizierung von möglichen Verbesserung im Hinblick auf Effizienz • mehrere Möglichkeiten eines Teams zu Kurs die Richtung für Kurskorrekturen im wiederholten Arbeitsprozess • Reduzierung der notwendigen Nacharbeit aufgrund einer Tätigkeit in kleinen Segmenten • kontinuierliche Teilelieferung • Verbesserung des kontinuierlichen Prozesses • erhöhte Produktivität • erhöhte Effizienz • Optimierung der Inventur • Reduzierung der Abfälle und des Schrott 	<ul style="list-style-type: none"> • Infragestellung des Kanban-Systems bei großer Produktion • Nachteile bei Verlängerung der Durchlaufzeit vom Beginn bis zur Fertigstellung • hohe Anforderungen an die Disziplin der Arbeiter im Hinblick auf das Erkennen von Signalen und Einhaltung der Produktionsregeln • Gefahr für den Ausfall bzw. zur Abschaltung einer der gesamten Linie beim Auftreten nur eines Fehlers

Tabelle 2: Vor- und Nachteile eines Kanban Systems¹²¹

4.2 Szenario 2: RFID Tracking und Tracing – Ein „Best-Case Scenario“

In diesem Szenario wird der Transport der Teile an die Montagelinie mit Hilfe eines RFID-Tracking-und-Tracing-Systems dargestellt. Der Zweck dieses Szenarios ist, den Materialfluss in einem derartigen Fall zu erklären und die Verwendung von RFID exemplarisch darzustellen. Es wird deutlich gemacht, wie *Industrie 4.0* in einem Montagewerk eingesetzt werden kann. Dieses Szenario dient daher als „best-practice“-Ansatz; die vorgestellten Lösungen sollen im Kapitel 5 auch ins Szenario 1 implementiert werden, um Verbesserungsmöglichkeiten aufzuzeigen wie beispielsweise die Verkürzung der Zuführungszeit oder die Reduzierung der Anzahl der durch Menschen verursachten Fehler.

Das folgende Szenario soll also die Möglichkeiten der Anwendung eines Tracking-und-Tracing-Verfahrens aufzeigen.

¹²⁰ Eigene Darstellung

¹²¹ Eigene Darstellung

Eine Software wertet die gesammelten Daten aus und visualisiert die Behälterströme und -volumen. Die automatische Erkennung der Behälter kann kontinuierlich aufgezeichnet werden. Dies macht es möglich, permanent die Inventur aller Behälter abzufragen. Durch die Aufzeichnung von Datum und Uhrzeit bei der Registrierung an den verschiedenen Erfassungsstationen kann der Materialfluss zwischen den Werksstandorten nachgezeichnet werden. Sowohl der Zwischentransport als auch einzelne Bereiche und individuelle Behälterbewegungen werden hier angezeigt. Alle notwendigen Daten wie Inhalt, Zieladresse und Kapazität werden auf die Transponder geschrieben.¹²²

Grundsätzlich führt die Verwendung eines Behälter-Tracking-Systems zu verbesserter Kontrolle des Materialflusses vor allem aufgrund einer schneller möglichen Reaktion im Falle von Verlust, Beschädigung oder falscher Lieferung. Darüber hinaus werden verlorene Behälter schneller gefunden oder die Ursache der Schäden wird leichter identifiziert. Eine effizientere Verwendung eines Behälters erhöht auch die Rotationsgeschwindigkeit, sodass dadurch die erforderliche Bodenfläche verringert wird.

Gestaltung des Montagewerkes

- Die Montagelinie ist ein Mixed-Modell-Fließband.
- Die Teile werden von einem Sublieferanten geliefert.
- Tracking und Tracing werden mit Hilfe von RFID vollzogen.
- Schleppzüge werden als Transport- und Kommissionierung-Mittel benutzt.
- Es wird ein Supermarkt-Prinzip für die temporäre Lagerung benutzt.
- Die transportierten Teile sind Teile eines Armaturenbretts.
- Diese Teile werden an einem Montagestand zusammengestellt, bevor sie an die Endmontage-Plattformen geschickt werden.
- Es werden Behälter benutzt.

¹²² vgl.F.Klug (2010), S.147

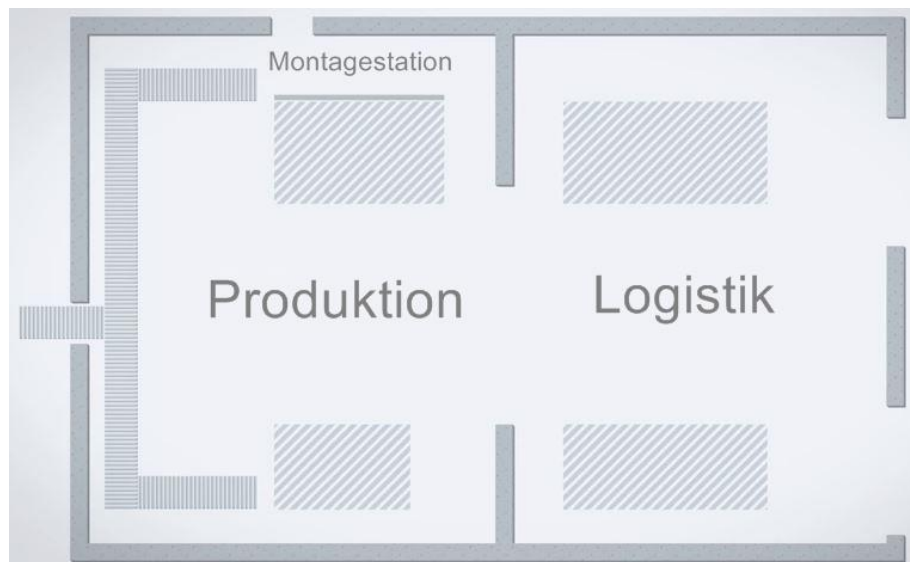


Abb.26: Montagewerksfläche¹²³

Es wird vermutet, dass das Montagewerk mit dem gleichen Supermarktprinzip funktioniert und es wird ein temporäres Lager in Nähe des Montagewerks aufgebaut. Sowohl das Lager als auch das Montagewerk werden mit einem RFID-Tracking-System ausgestattet.

4.2.1 Benutzte Technologie

- RFID Transponder

Der Transponder kann je nach Konstruktionsprinzip mehrere Verwendungsweisen ermöglichen. Er kann unterschiedlichen Speicherplatz haben und er kann passiv oder aktiv sein, wie in Kapitel 2.3.2.1 erwähnt. Er wird auf die Oberfläche der Behälter gesetzt. Ein Monteur wird an der Montagestation, nachdem er die Teile zusammengebaut haben wird, ebenfalls einen Transponder mit Informationen über das angefertigte Montageteil auf den neuen Behälter setzen.



Abb.27: Beispiel von Transpondern¹²⁴

¹²³ Quelle: vgl. <https://www.youtube.com/watch?v=Ktid2FHrpL4>, zuletzt geprüft am 15.05.2015

¹²⁴ Quelle: Weigert (2006), S.23

- RFID Lesegeräte

Lesegeräte werden an allen Ein- und Ausgängen des Lagers oder des Montagewerks installiert. Auf diese Weise kann der Materialfluss leicht detektiert werden. Auch an der Montagestation wird ein Lesegerät angebracht sein. Es ist notwendig, diese Geräte auch an den Kreuzungen der Fließbänder zu platzieren, um Entscheidungen zu ermöglichen, welchen Pfad ein Behälter nehmen soll.

- Informationen zur Transponder- EPC (Electronic Product Code)-Netzwerk

Ein EPC-Netzwerk ist ein offenes, weltweites, nicht-profit-orientiertes Konsortium von Lieferketten-Partnern, die zusammenarbeiten, um einen transparenten Logistikprozess zu schaffen. Das EPC-Netzwerk ist ein neutrales Unternehmen, das RFID und Internet nutzt, um Daten in Echtzeit zu sammeln und auszutauschen, sodass die Nachvollziehbarkeit zur Beschaffenheit und zum Verbleib einzelner Produkte möglich wird. „Informationen über Objekte werden in einer der „Extensible Markup Language“, also XML-ähnlichen Sprache, der „Physical Markup Language“ (PML), bereitgestellt, mittels derer ein Objekt durch ein festgelegtes Schema genau beschrieben werden kann. Diese Informationen werden dann via Internet an die Savant-Software geschickt, die Informationen über den EPC angefordert hat.¹²⁵ Das EPC-Netzwerk bietet auch RFID-bezogene Standards für die Datenerzeugung und -übertragung. (s. Anhang 7.2)

- Schleppzug

Der Schleppzug wird für den Transport der Behälter aus dem Lager zu der Montagestation verwendet. Er hat aber nicht nur die Aufgabe zur Bereitstellung von neuen Teilen in der Montagestation, sondern auch zum Abtransport der geleerten Behälter.

- Software

Ein Überwachungssystem besteht aus Hard- und Softwarekomponenten. Die Softwarekomponenten agieren als Entscheidungstreffer. Die Software kann Daten sammeln, analysieren und weitersenden. Die Lokalisierung der Transponder oder Lesegeräte kann mit Hilfe von Technologien wie GPS erfolgen. In diesem Szenario trifft die Software Entscheidungen beispielsweise darüber, ob die geleerte Behälter gegen volle ausgetauscht werden müssen oder zum Pfad der

¹²⁵

vgl. ebendort, S. 31

Behälter auf den Fließbändern. Die Software muss jedes Mal eine Entscheidung treffen, wenn ein Transponder gelesen wird.

4.2.2 Materialfluss

Lesegeräte sind an jedem Platz, an dem ein Eingang oder Ausgang von Produkten im Montagewerk stattfindet, angebracht; so werden sie auch im Supermarkt, in der Montagestation oder am Fließband strategisch klug platziert:

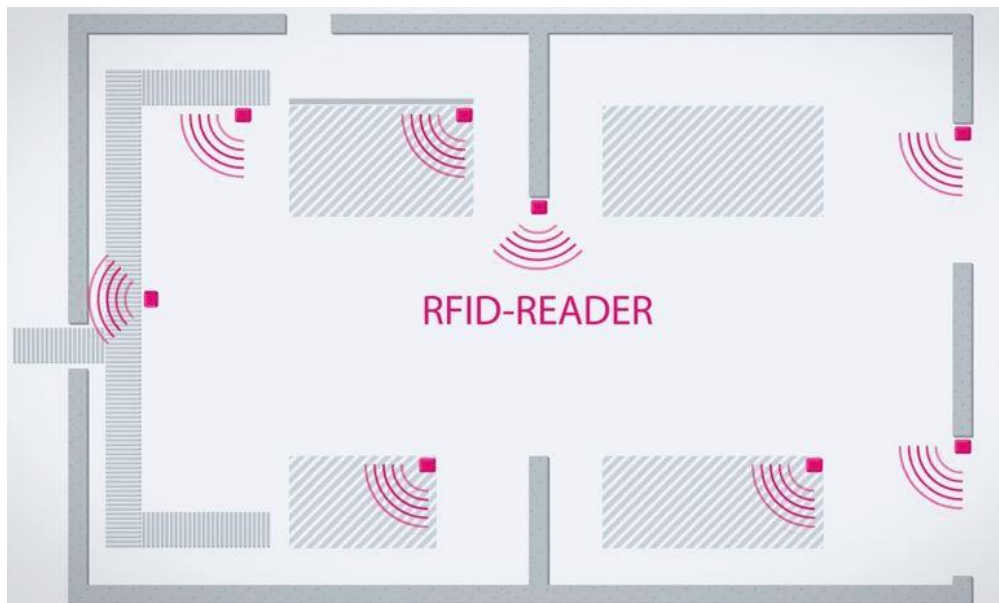


Abb.28: Platzierung der Lesegeräte¹²⁶

Wenn ein LKW mit Teilen das Montagewerk erreicht, wird er an dessen Eingang abgeladen. Wenn die Ladung in ein Lagerhaus transportiert wird, liest ein Lesegerät die Informationen, die auf jedem Behälter-Transponder geschrieben sind. Wenn die Informationen mit den Informationen, die das Lesegerät über die Bestellung erhalten hat, übereinstimmen, wird der Behälter im Supermarkt gelagert.

¹²⁶ Quelle: vgl. <https://www.youtube.com/watch?v=Ktid2FHrpL4>, zuletzt geprüft am 15.05.2015

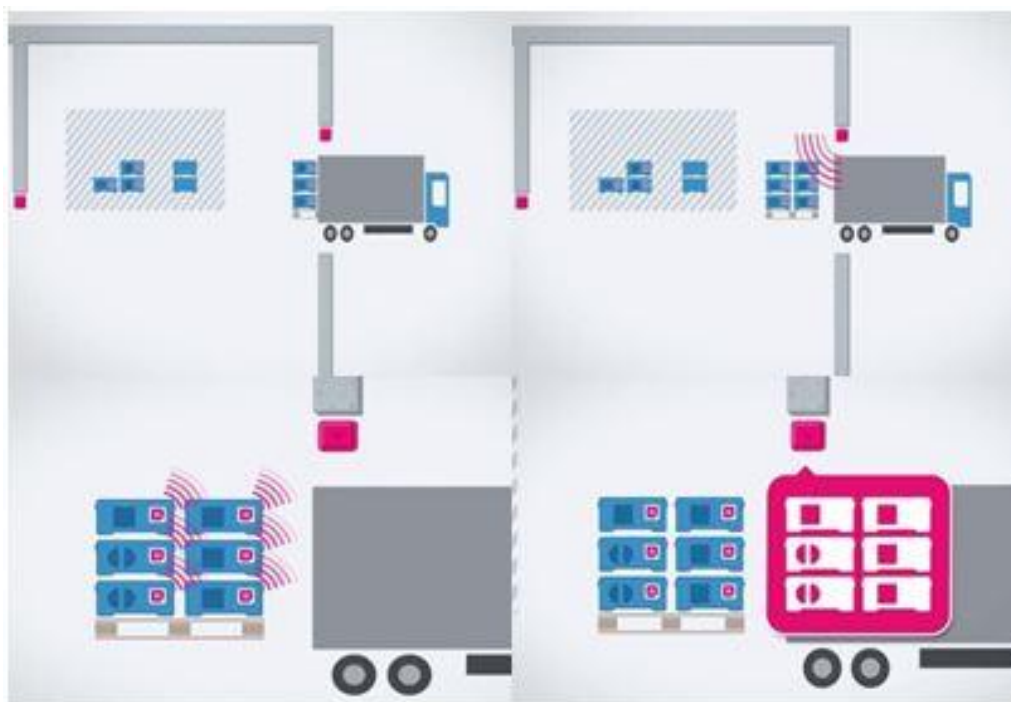


Abb.29: Wareneingang¹²⁷

An der Montagestation überwacht ein Lesegerät den Materialfluss und zeichnet die Anzahl der entleerten Behälter sowie auch die Anzahl der Behälter mit Teilen auf, die sich in der Nähe der Montagestation befinden. Wenn das Lesegerät eine bestimmte Anzahl von geleerten Behältern erkennt, wird es die Information an das System weiterleiten.

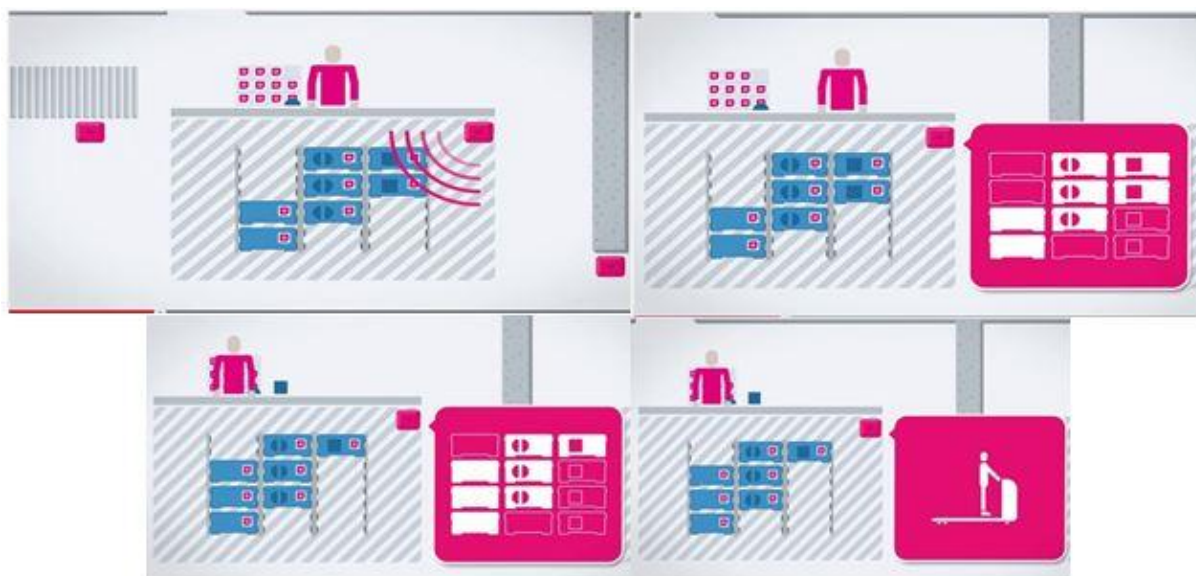


Abb.30: Lesegerät bei Montagestation¹²⁸

¹²⁷ Quelle: vgl. <https://www.youtube.com/watch?v=Ktid2FHRpL4>, zuletzt geprüft am 15.05.2015

¹²⁸ ebendort

Der nächste Schritt, den das System zu tun hat, ist es, den Schleppzug-Führer über die Anzahl der zu führenden Behälter zu informieren. Mit Hilfe des Schleppzuges werden die benötigten Behälter aus dem Supermarkt zur Montagestation transportiert. Die Anzahl der Behälter, die das Lager verlassen und die ins Montagewerk eintreffen, wird mit Hilfe eines Transponders, der sich am Eingang des Montagewerkes befindet, kontrolliert. An der Montagestation selbst werden die Behälter vom dort installierten Lesegerät registriert. Der Schleppzug-Führer wird - wie vorgesehen - die leeren Behälter nehmen und dadurch Platz für die neu gebrachten Behälter machen. Dieser Prozess wird die Anzahl der Fahrten verringern und die Effizienz erhöhen.

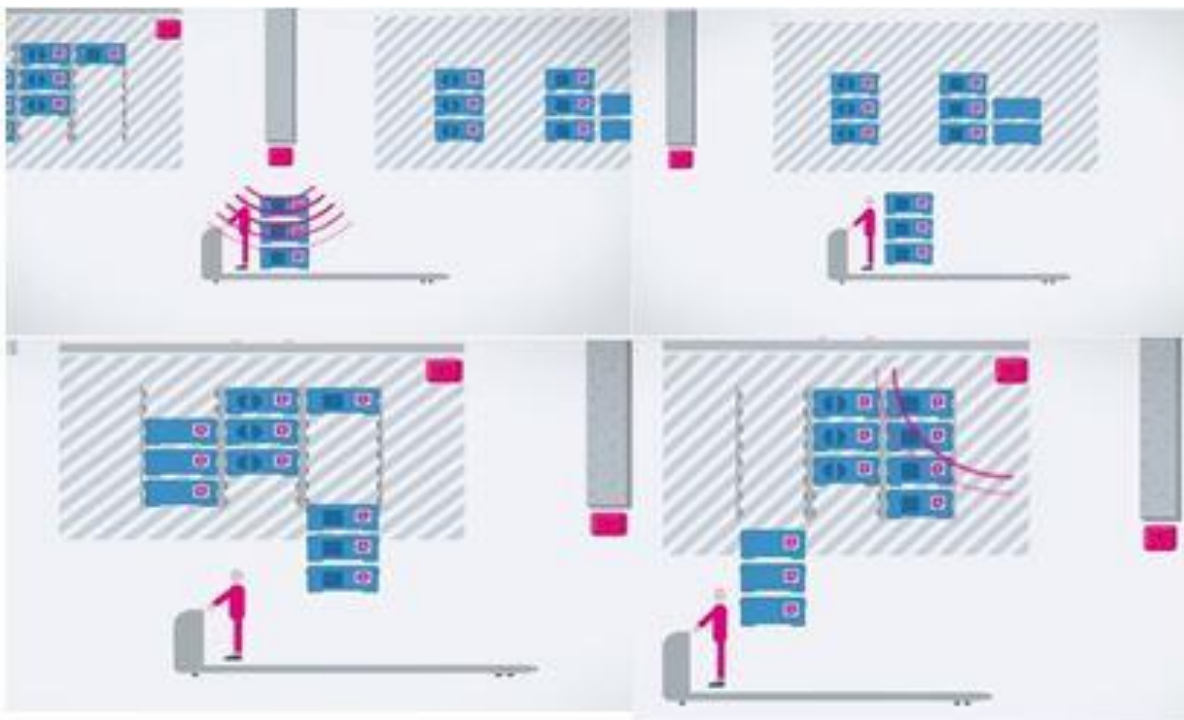


Abb.31: Auffüllung¹²⁹

An der Montagestation baut ein Arbeiter das Armaturenbrett zusammen und dann legt er es in einen anderen Behälter. Bevor er diesen Behälter an das Fließband stellt, wird er einen Transponder mit den dazugehörigen Informationen auf den neuen Behälter kleben.

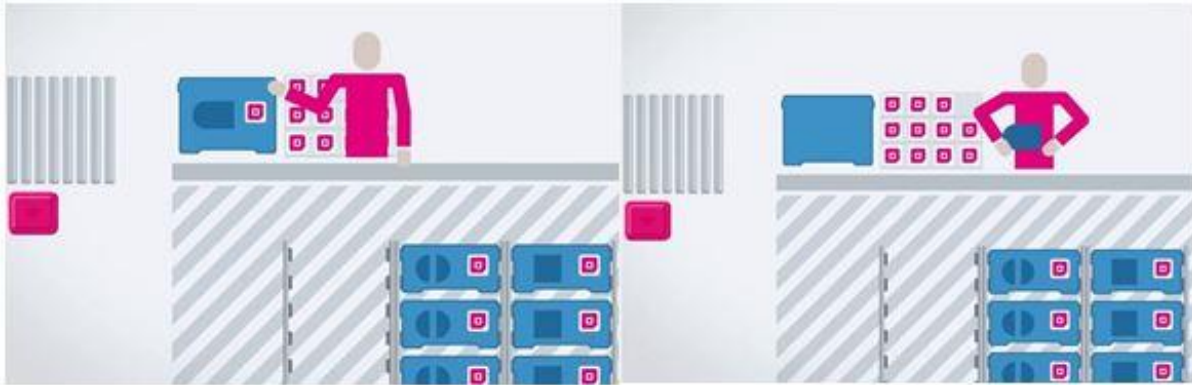


Abb.32: Zusammenstellung des Armaturenbretts¹³⁰

Sobald der Behälter auf dem Fließband ist, wird er von einem Lesegerät registriert. An jedem Schnittpunkt des Fließbandes ist ein weiteres Lesegerät installiert. Dieses Gerät entscheidet, welcher Plattform der Behälter zugeführt werden muss.

Da die Aufzeichnungen eines Transponders überschrieben werden können, wird dieser nach der Beendigung einer Montage am Ausgangspunkt zur Wiederverwendung zurückgegeben. Durch die Mehrfachnutzung eines jeden Transponders können Kosten eingeschränkt werden.



Abb.33: Steuerung des Pfades¹³¹

Ziel eines RFID-Tracking-und-Tracing-Systems ist es, eine bessere Kontrolle und transparentere Prozesse zu schaffen. Die Verfügbarkeit aller steuerungsrelevanten Daten ermöglicht einem solchen Prozess. Dies erfordert allerdings eine durchgängige Erfassung von Daten in allen Schritten des Prozesses. Die Anwendung von RFID ist zudem nicht nur auf die Lieferung beschränkt. Dieses Beispiel wurde nur zum besseren Verständnis der RFID-Technologie beschrieben.

¹³⁰ Quelle:vgl. <https://www.youtube.com/watch?v=Ktid2FHrpL4>, zuletzt geprüft am 15.05.2015

¹³¹ Quelle:vgl. <https://www.youtube.com/watch?v=Ktid2FHrpL4>, zuletzt geprüft am 15.05.2015

RFID könnte man auch im Presswerk, beim Lackieren und in andere Bereichen eines Montagewerks verwenden.

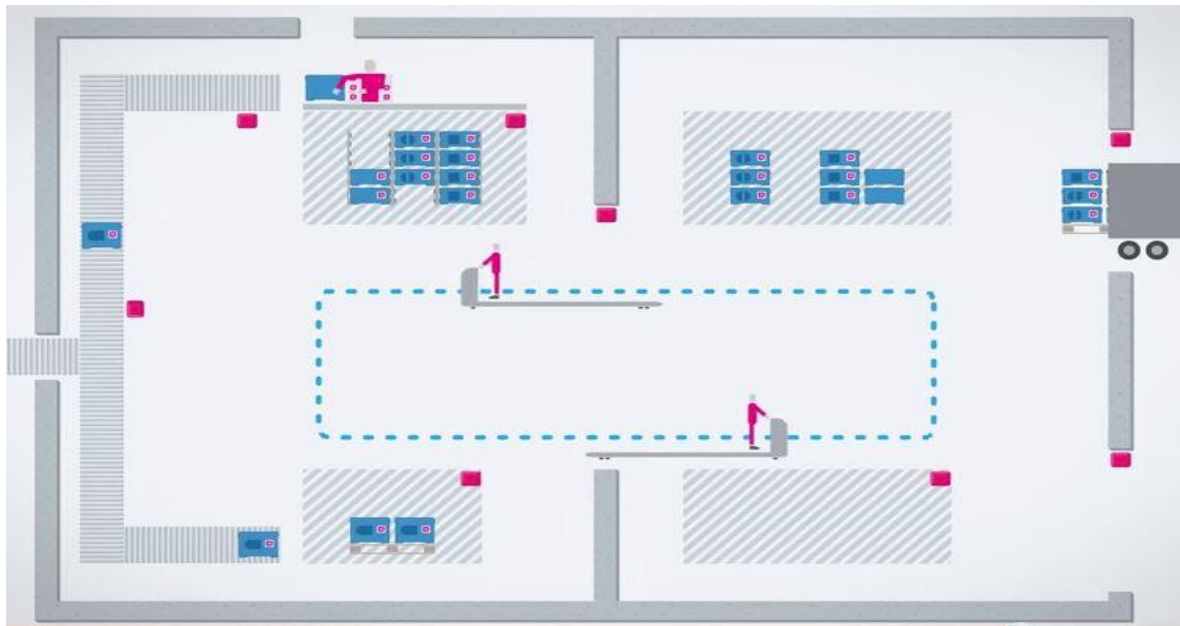


Abb.34: Materialfluss¹³²

In dem ersten Szenario wurde die Mengenkontrolle manuell und halbautomatisch mit Hilfe von Kanban-Karten gemacht, was ein höheres Risiko durch die Fehlerquelle Mensch bedeutet. Bei der Automatisierung durch die Verwendung von Tracking-und-Tracing-Systemen werden nicht mehr Menschen Entscheidungsträger sein.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Verkürzung der Zuführungszeiten • Schreiben und Lesen von RFID-Tags • recht hohe Datenspeicher-Kapazität • Wiederverwendbarkeit und Langlebigkeit von Transpondern • Verzicht auf optisches Lesen • Reduzierung der Anzahl der durch Menschen verursachten Fehler • Verschlüsselung der Daten • deutlich höhere Lesegeschwindigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • höhere Kosten durch größere Speicher-Kapazitäten • schwerer zu begreifende RFID-Technologie • größere Ausmaße der Transponder als die der Barcodes • anwendungsspezifische Beschaffenheit der Transponder Gefahr zur Interferenzbildung beim

Tabelle 3: Vor- und Nachteile der RFID Tracking und Tracing¹³³

¹³² Quelle: vgl. <https://www.youtube.com/watch?v=Ktid2FHrpL4>, zuletzt geprüft am 15.05.2015

5 Anwendungen des Programms *Industrie 4.0* in der Logistik der Automobilindustrie

Die Einführung der cyber-physischen Systeme in die Logistik der Automobilindustrie ist für die Planung und Steuerung der logistischen Prozesse günstig. Das wichtigste Merkmal dabei ist die Anpassungsfähigkeit der lokalen Logistiksysteme bei Störungen. Zudem ist die Reaktionszeit im Falle einer Prozess-Störung kürzer aufgrund der Fähigkeit der Maschinenteknik, jede verlorene Sekunde zu erkennen.

5.1 Szenario 1 aus Sicht der *Industrie 4.0*

Im Falle der Zuführungsprinzipien ist das wichtigste Merkmal die Echtzeit-Verfügbarkeit der Informationen. Mit Hilfe der CPS und RFID wird die Konsistenz der Daten verbessert und es werden einzigartige Informationsquellen vorgelegt. Die Echtzeit-Verfügbarkeit der Informationen führt zu einer höheren Transparenz des Prozesses, was auch hilfreich beim Aufbau einer dezentralen Steuerung ist.

Eine dezentrale Steuerung schafft bessere integrierte Bedingungen im Optimierungsprozess. Die Flexibilität der Entscheidungsprozesse bei sich ändernden Anforderungen wird erhöht. Für ein gut funktionierendes Zuführungsprinzip ist die Dezentralisierung wichtig. Das bedeutet, dass jeder einzelne Schritt, der getan wird, auch an die Hauptsoftware gemeldet werden muss, die der Entscheidungsträger sein wird. Dennoch können auch weiterhin Entscheidungen von Menschen getroffen werden, weil der Status des Prozesses jeweils drahtlos an Laptops geschickt wird.

Die Vorteile der Dezentralisierung sind:

- Reduzierter Aufwand für Planung und Steuerung
- Direkte Synchronisation mit tatsächlichen Bedarf
- Bessere Kontrolle der Inventur
- Weniger verbrauchte Informationen
- Nutzung von Know-how auf der Montagestation-Ebene
- Reduzierte Komplexität und erhöhte Flexibilität

5.1.1 Lage des Montagewerks

Wie in Szenario 2 wird diese Fabrik ein Hauptmontagewerk und mit einem daneben platzierten Supermarkt-Lager sein. Die Prinzipien der Zuführung der Teile sind fast die gleichen.

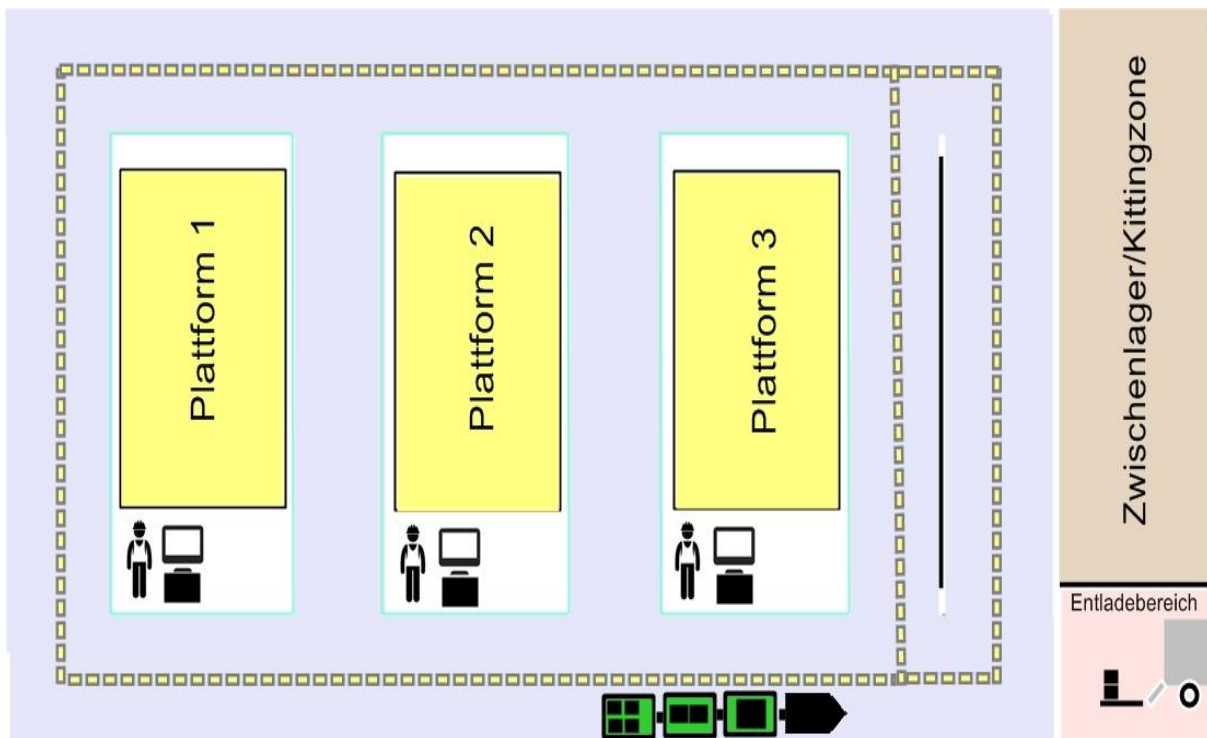


Abb.35: Lage des Montagewerks¹³⁴

Wenn *Industrie 4.0* auf dieses Szenario angewendet wird, wird eine Automatisierung der Kanban-Systeme erreicht und die Informationen werden mit Hilfe des Internets der Dinge ausgetauscht. Menschliche Interaktionen werden nicht mehr erforderlich sein. Da die RFID-Systeme die Daten von einem RFID-Tag ändern können, werden diese wie Kanban-Karten behandelt. Wenn die Behälterinformationen geändert werden, werden sie auch bei dem entsprechenden Transponder geändert. So wird das Schreiben von Informationen auf dem Kanban durch die Veränderung der Informationen direkt auf dem Transponder ersetzt. In diesem Fall wird Zeit eingespart.

Siemens hat ein Pilotprojekt für den Aufbau einer intelligenten Fabrik vorgestellt. Das von Siemens präsentierte Design passt sehr gut zu diesem Szenario. Das Bild unten beschreibt, wie die Ingenieure von Siemens glauben, dass eine intelligente Fabrik aussehen wird.

¹³⁴ Eigene Darstellung



Abb.36: Situation in einem intelligenten Montagewerk¹³⁵

Das Lagerhaus wird sich, sehr wahrscheinlich, mit der Zeit nicht so viel ändern. Es wird angenommen, dass in diesem Szenario das Lager

- einen Aufnahmebereich für ankommende Teile,
- einen Bereich mit Regalen,
- eine intelligente Beladestation und
- eine Kitting-Station

haben wird.

5.1.2 Benutzte Technologie

- RFID

Eines der wichtigsten Elemente der *Industrie 4.0* ist das RFID-System. Es ist für das Kitting-Zuführungsprinzip grundsätzlich erforderlich, dass jedes Kit, mit einem Tag verbunden ist. Die Teile und die Komponenten der Teile benötigen keine Intelligenz in Bezug auf die autonome Steuerung zum Treffen eigener Entscheidungen. Ein RFID-Tag sollte zum Speichern von Informationen genügen. Dies ist notwendig, um den Status jedes Teiles in jedem Fach und in jedem Regal schnell und genau abzubilden, um ein Echtzeit-Bild zu generieren.

¹³⁵ Quelle: <http://www.siemens.com/innovation/de/home/pictures-of-the-future/industrie-und-automatisierung/digitale-fabrik-autofertigung-von-morgen.html> zuletzt geprüft am 27.04.2015



Abb.37: Beispiel einer RFID Steuerung¹³⁶

- Plattformen

Es ist nur erforderlich, über die zugeführte Teile zu wissen, zu welchem Auto sie gehören sollen. Da angenommen wird, dass *Industrie 4.0* für ein Plattform-Konstruktionsprinzip besser geeignet ist, wird davon ausgegangen, dass dies in der angeführten Fabrik so umgesetzt ist. In diesem Fall wird das Transportmittel von Anfang an informiert, auf welche Plattform die Komponenten zugeführt werden sollen.

- Drahtlose Kommunikation

Zum Beispiel wird das Chassis ein intelligentes Produkt sein. Es wird ein RFID, das alle Informationen über die Bestellung gespeichert hat, integriert haben. Bei der Ankunft an der Plattform wird ein Lesegerät den RFID-Code entschlüsseln und die Information wird über eine drahtlose Verbindung zur Hauptsoftware gesendet. Die Software wird dann spezifische Informationen zu den Maschinen, die verantwortlich für der Zuführung der Teile sind, senden.

- Autonom geführte Transportmittel

Für das ein solches System wäre es sinnvoll, um die Beweglichkeit der Komponenten zu ermöglichen, autonom geführte Transportmittel zu implementieren. Diese Transportmittel werden schnell bei variierenden Arbeitsbelastungen oder bei einer Änderung der Reihenfolge reagieren können und sie werden den Materialfluss für die Plattformen verbessern. Mit Hilfe des

¹³⁶ Bosch Global, "Industrie 4.0" - Bosch plant in Blaichach, Germany, Online verfügbar unter URL: <https://www.youtube.com/watch?v=GKhSTJraHIU>, Min: 01:02, zuletzt geprüft am 20.05.2015

CPS wird es nicht notwendig sein, einen Fahrplan für die Transportmittel zu erstellen, weil sie in der Lage sein werden, miteinander zu kommunizieren.



Abb.38: Maschinen kommunizieren miteinander¹³⁷

- Intelligente Beladezonen

Das Montagewerk muss mit intelligenten Beladezonen ausgestattet werden. Es wird keine Planung benötigt, da der Schleppzug die Anzahl der Teile, die gebraucht werden, erkennt. Die Beladestation wird in der Lage sein, dieselben Informationen wie das autonome Transportmittel zu haben, weil die Hauptsoftware die Information mit der Anzahl der Teile, die das Fahrzeug braucht, an beide gesendet hat.

- Hauptsoftware

Die Hauptsoftware wird der Entscheidungsträger sein. Sie wird Informationen von allen CPS sammeln und Konnektivität ermöglichen. Wie die Software in einem

¹³⁷Bosch Global, "Industrie 4.0" - Bosch plant in Blaichach, Germany, Online verfügbar unter URL: <https://www.youtube.com/watch?v=GKhSTJraHIU>, Min: 02:30, zuletzt geprüft am 20.05.2015

Computer wird sie der Schlüssel zum guten Funktionieren der Fabrik sein. Sie wird in der Lage sein, Informationen zu empfangen, zu analysieren und zu dekodieren und sie an eine bestimmte Maschine zu senden. Sie wird auch die Fähigkeit haben, Zeit, Objekte und Maschinen zu verfolgen, um den Prozess - falls erforderlich - zu optimieren.

- CPS

CPS sind eigentlich Objekte, Gebäude, Ausrüstungen, Geräte u.a., die Softwaresysteme aufgenommen haben, welche die Kommunikation durch Vernetzung ermöglichen. Durch die Verbindung dieser Software-Einheiten wird das Internet der Dienste geschaffen. CPS können die Elemente aus ihrer Umwelt mit Hilfe von Sensoren erkennen und vernetzen. Durch die vernetzten Daten und mit Informationen aus dem Internet können CPS jedes Element diagnostizieren und steuern. Sie können mit Hilfe von Aktoren auf die Elemente der physikalischen Welt einwirken.

- Mobilgeräte

Mögliche Warnungen werden per SMS zur Überwachung durch die Benutzer gesendet. Das ist ein wichtiger Punkt, weil es die Reaktionszeit reduziert und eine schnellere Entscheidungsfindung ermöglicht. Es kann jedoch passieren, dass ein Mitarbeiter, eine Warnung, die per SMS an ein Mobilgerät gesendet wurde, nicht bemerkt. Dies kann zu einer Verzögerung bei der Entscheidungsfindung und möglicherweise zu Verlusten im logistischen Fluss führen.

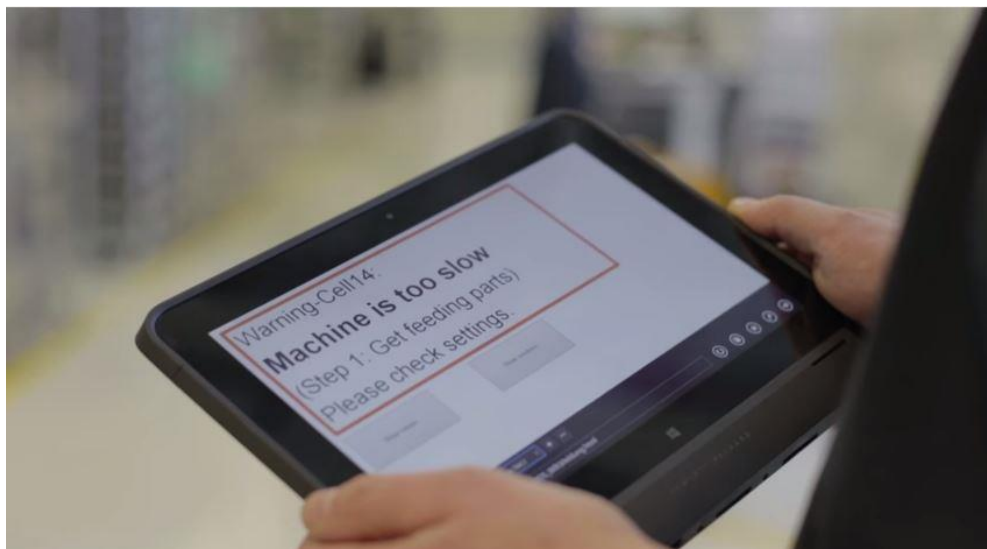


Abb.39: Lokalisierung der Verlangsamung¹³⁸

¹³⁸ Bosch Global, "Industrie 4.0" - Bosch plant in Blaichach, Germany, Online verfügbar unter URL: <https://www.youtube.com/watch?v=GKhSTJraHIU>, Min: 01:45, zuletzt geprüft am 20.05.2015

5.1.3 Materialfluss

Auch wenn die *Industrie 4.0* eine vollautomatische Fabrik voraussetzt, bleibt der Mensch im Mittelpunkt des Geschehens. In diesem Szenario bestimmen Menschen die Regeln der Produktion und der Versorgungskette. Nach dem eine erste Planung erfolgt ist, simulieren und vergleichen die CPS die Optionen der Versorgungskette, basierend auf Anweisungen. Der nächste Schritt ist, dass die CPS optimale Produktionswege vorschlagen. Dies wird von Menschen untersucht und am Ende wird der optimale Logistik-Pfad ausgewählt und durchgeführt.

Für ein besseres Arbeitssystem müssten die Kits vor der Zuführung zusammengestellt werden. Eine andere Variante ist, den Sublieferanten die Verantwortung des Kitting zu übertragen, sodass diese die Kits anfertigen, bevor sie sie an das Montagewerk liefern. Im Fall dass die Kits erst im Montagewerk gemacht werden sollen, wird die Kitting-Zone im bzw. ein Zwischenlager sein.

Im Entladebereich wird ein Lesegerät die Tags für jeden gelieferten Behälter lesen und die Hauptsoftware über die Anzahl und Art der angekommenen Teile informieren. Das Gerät wird den aktuellen Stand zu einem MES-System schicken. Ein Transportmittel wird informiert, wo sich die entladenen Behälter befinden bzw. aus welcher Lade-Zone sie wohin zu führen sind. Das Transportmittel wird dann die Behälter zum Zwischenlager führen, damit erst das Kitting vorgenommen wird. Je mehr Speicherkapazität vorhanden ist und je intelligenter die Software ist, desto mehrere Kits können in einen Behälter gestellt werden.

Durch das Internet der Dinge wird das Zentralsystem über die Anzahl der verbleibenden ESH in den Behälter informiert und eine kontinuierliche Versorgung aufgebaut. Wenn die Paletten mit ESH am Montagewerk verbraucht sind, werden die Lieferanten mit Hilfe des Internets der Dienste direkt informiert, sodass sie einen neuen Transport schicken werden. Intelligente Sensoren erkennen niedrige Bestände und melden diese an die Unternehmensressourcenplanung, was zu einer Nachfüllungsbestellung führt. Da die Software die Fähigkeit hat, in Echtzeit den Prozess zu verfolgen, wird es nur, wenn es die richtige Zeit ist, einen neuen Auftrag vergeben.

Jedes Mal, wenn ein Auto bis zu einem Punkt am Ende einer Fertigungsmontagelinie kommt, kann ein Datenpunkt ans Internet der Dinge geschickt werden. Jeder einzelne Punkt wird dann mit einem Zeitstempel versehen und auf einem Server gespeichert. Wenn sich die Produktionsrate verlangsamt, könnte ein Kontrolleur automatisch Daten aus dem Objektsensor über frühere Verfahren abrufen, um den genauen Ort zu lokalisieren, wo die Verlangsamung ihren Ursprung hat.

Da die Systeme dennoch voll automatisiert sind, werden menschliche Fehler kein Problem mehr sein. Die Automatisierung der Logistik-Kette führt auch zu einer starken Dezentralisierung. Da die Entscheidungen von einer zentralen Software getroffen werden, müssen alle Prozesse sehr stark dezentralisiert ablaufen, sodass die zentrale Software nicht zu viele Einzelheiten zu berücksichtigen hat.

Die Verbesserungen, die durch die Implementierung eines solchen Systems entstehen, sind die:

- Ermittlung und Behebung von Schwachstellen in den Versorgungsnetzen,
- Fähigkeit, die Leistung der Lieferanten zu überwachen,
- Reduzierung von Gesamtfachkosten,
- Optimierung der Firmen-Lagerverwaltung,
- Erhöhung der Effizienz von vorausschauender Unternehmungsplanung,
- Reduzierung der Durchlaufzeiten,

Zusammenfassend gesehen, lassen sich die Ideen des Programms *Industrie 4.0* auf die Zuführungsprinzipien in der Automobilindustrie anwenden. Wie im Kapitel 4 erklärt ist, wurden einige Ideen, wie die der RFID-Tracking-Systeme bereits angewendet. Konnektivität kann ermöglicht werden und wird zur Verbesserung der Lieferketten führen. Auch wenn dies nur ein Mikro-Modell von dem ist, was die Logistik in der Automobilindustrie darstellt, können alle der oben genannten Anwendungen auch in anderen Bereichen genutzt werden.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • bessere Reaktionszeit • kontinuierlicher Materialfluss • Reduzierung der Lagerzonen • Reduzierung der Transport-Zyklen durch die Vergrößerung der Anzahl der Kits in einem Behälter • Vermeidung von menschlichen Fehler • Optimierung der Lieferprozesse • Behebung von Schwachstellen in den Versorgungsnetzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Notwendigkeit zur gleichzeitigen Optimierung des Montagewerks • Notwendigkeit zur Anpassung der Menschen an dieses System • längere Transportstrecken für den Schleppzug • Notwendigkeit großer Investitionen

Tabelle 4: Vor- und Nachteile eines *Industrie 4.0* Zuführungsprinzips¹³⁹

¹³⁹ Eigene Darstellung

5.2 Andere Anwendungen der *Industrie 4.0* an die Automobilindustrie

Die Bedeutung des Programms *Industrie 4.0* hat in den Augen der Automobilhersteller in den letzten Jahren stark zugenommen. Das Konzept einer voll automatisierten Fabrik scheint eine attraktive Idee für die Akteure der Branche zu sein. Nachstehend werden weitere Beispiele von Pilot-Projekten, die in der Automobilindustrie entwickelt worden sind, vorgestellt. Denn die Anwendungen der Ideen des Programms *Industrie 4.0* sind auch in andere Bereiche der Automobillogistik übertragen worden, kamen also nicht nur beim Materialfluss zum Einsatz.

5.2.1 Qualitätsicherung¹⁴⁰

Ein erstes Beispiel, wie die Ideen der *Industrie 4.0* die Automobilhersteller beeinflusst haben, ist eines von *BMW*. Hier ist ein System entwickelt worden, das tatsächlich die virtuelle und reale Welt vereint, um sicherzustellen, dass die Qualität der benutzten Karosseriefarbe den Erwartungen entspricht. Zusammen mit dem *Fraunhofer Institut* hat dieser Hersteller ein berührungsloses System zur Gestenerkennung entwickelt.

Der Inspektor muss immer noch Teile visuell überprüfen, um Defekte zu identifizieren, aber das Verfahren der Berichterstattung über die Mängel wurde geändert. Sobald er einen Defekt in der Farbe feststellt, muss er nur mit dem Finger darauf zeigen. Das ist alles, was zu tun ist, um den Fehler an die Qualitätssicherung zu melden, damit er gespeichert und dokumentiert werden kann. Die Geste wird von Kameras, die die Fähigkeit haben sie zu erkennen, aufgezeichnet, ausgewertet und gemeldet. Ein weiteres wichtiges Merkmal des Programms ist, dass es auf einem Monitor eine 3D-Rekonstruktion des inspizierten Teiles anzeigen kann. Arbeiter an den Arbeitsstationen können auf einem Bildschirm Entscheidendes verfolgen, ohne ihren Arbeitsplatz verlassen zu müssen.

Vor	Nach
<ul style="list-style-type: none"> • Beachten aller Fehler • Gang zum Hauptcomputer • Betreiben mehrerer Eingabebildschirme • Kennzeichnung der Position des Defekts • Kennzeichnung der Art des Defekts 	<ul style="list-style-type: none"> • Anzeigen von Fehlern • Verbleib an der Arbeitsstation • direktes Interagieren mit dem Produkt

Tabelle 5: Vor und Nach der Einführung des berührungslosen Systems zur Gestenerkennung¹⁴¹

¹⁴⁰vgl. <http://www.automobil-produktion.de/2014/06/industrie-4-0-bmw-ueberprueft-qualitaet-mit-virtuellem-fingerzeig/> zuletzt geprüft am 14.05.2015

Dieses System basiert auf einer 3D-Workstation-Rekonstruktion. Vor dem Start der Inspektion, müssen die Autoteile, der Inspektor und alles von der Arbeitsstation in 3D rekonstruiert werden. Die Implementierung dieses Systems ist nicht einfach.

Jeden Aspekt des Prozesses (wie der Inspektor aussieht, wie er sich bewegt, wo sich das Objekt befindet, wie das Objekt aussieht u.a.) zu registrieren, scheint wie ein futuristisches Verfahren und ist schwer zu verstehen. Aber alles, was das System erfordert, ist ein *3D-Körper-Tracking*, das die Haltung des Inspektors in Echtzeit aufzeichnet. Die Hardware-Teile, die erforderlich sind, sind ein PC und zwei *Kinect-Systeme*, zudem sollten eine 3D-Kamera und ein paar Sensoren für die Erkennung der Person und der Teile genügen.

Wie aus der Tabelle ersichtlich wird, ist dieses Verfahren zeitsparend. Dies ist weiterer Hinweis darauf, dass mit Hilfe der *Industrie 4.0* jedes Verfahren verkürzt wird. Und es entfällt auch hier die Gefahr, dass Menschen Fehler machen. Die Tatsache, dass der Inspektor nicht mehr alle Defekte und deren Position markieren muss, eliminiert das Risiko, dass er Fehler macht. Mit dem an der Arbeitsstation integrierten PC muss der Arbeiter keine zusätzlichen Schritte mehr machen und den Ort, an dem er arbeitet, nicht mehr verlassen.

Dieses Projekt ist ein gutes Beispiel dafür, wie CPS entwickelt werden. Die Fähigkeit zum Aufzeichnen der realen Welt und diese in eine virtuelle Welt umzuwandeln, ist hier anschaulich dargestellt worden. Auch die Fähigkeit PC-gesteuerter Überwachungssysteme zur automatischen Mängelaufzuzeichnung und -weitergabe an die Qualitätssicherung, ist ein Beispiel, wie verschiedene Geräte miteinander kommunizieren können.

5.2.2 Intelligente Produkte¹⁴²

Siemens hat ein neues Pilot-Projekt bei der *Hannover Messe 2014* vorgestellt. Eine Autotür, die die Intelligenz hat, vom Lackieren ihr Weg zu finden, um an der richtigen Stelle an der entsprechenden Karosserie montiert zu werden. Die Türe und die Karosserie kommunizieren miteinander, mit Hilfe von RFID. Scanner sind Geräte, die Informationen lesen und diese zu den Robotern weiter schicken. Die Roboter können die Teile zusammensetzen und auch Entscheidungen treffen, um Fehler zu korrigieren

¹⁴¹ Eigene Darstellung

¹⁴²http://www.siemens.com/innovation/apps/pof_microsite/_pof-spring-2014/_pdf/PoF-1-2014-E-doppel.pdf zuletzt geprüft am 27.04.2015



Abb.40: Intelligente Montagewerk¹⁴³

Eine andere Funktion, die die intelligenten Komponenten haben - so *Siemens* - ist die Fähigkeit der Erfassung und Übermittlung von Daten über ihren Zustand. Mit anderen Worten: Die Komponenten wissen, wenn sie ausgewechselt werden müssen, und sie sind in der Lage, den Hersteller darüber zu informieren. Dieses System wird nicht nur zwischen dem Auto und dem Hersteller funktionieren, sondern mit Hilfe des Internets der Dienste wird es möglich gemacht, dass ein Teil direkt mit den Entwicklungssystemen kommuniziert. Da das Teil genau den Tag, an dem es erstellt wurde weiß, werden die Entwickler in der Lage sein, die Ursache des Problems zu ermitteln und zu versuchen, es zu verhindern.

Diese Art von Komponenten, die *Siemens* präsentiert hat, kann nicht nur die Herstellung mit Hilfe von *Industrie 4.0* verbessern, sondern auch bei der Instandhaltung Anwendung finden. Dadurch wird eine direkte Verbindung mit den Kunden hergestellt und somit wird die Loyalität der Kunden stark erhöht.

Heute weiß ein Kunde, dass ein Teil defekt ist, nur wenn es nicht mehr funktioniert. Auch wenn einige Teile direkt mit dem Computer des Autos verbunden sind und diesem Probleme signalisieren kann, hat der Kunde immer noch einen Termin beim Dienstleister zu machen, dorthin zu fahren und zu warten, bis das Problem genau identifiziert wird usw. *Siemens* hofft, dass mit Hilfe dieses Projekts, ein Teil produzieren zu können, dass in der Lage ist, selbst zu diagnostizieren und das Problem genau an den Hersteller zu melden und automatisch einen Termin zu generieren.

¹⁴³ Quelle: http://www.siemens.com/innovation/apps/pof_microsite/_pof-spring-2014/_pdf/PoF-1-2014-E-doppel.pdf zuletzt geprüft am 27.04.2015

Konnektivität, Selbstdiagnose, Internet der Dienste sind alles Ideen der *Industrie 4.0*. Alle der oben genannten Merkmale werden die Planung und Steuerung der Verwaltung der Teile verbessern, sodass diese einen direkten Einfluss auf den logistischen Prozessen hat.¹⁴⁴

5.2.3 Intelligente Geräte¹⁴⁵

Volkswagen hat eine neue Verwendung der *Google Brille* gefunden die Brille als ein Lesegerät funktionieren soll. Es ist eine sehr intelligente Verwendung der Brille, welche den Mitarbeitern die Fähigkeit verleiht, mit beiden Händen zu arbeiten. Die Brille wird aber nicht nur als Lesegerät, sondern auch als ein Warnsystem funktionieren.

Als Lesegerät wird sie die Informationen an den Behältern lesen. Wenn es der richtige Behälter ist, wird die Brille mit Hilfe einer Projektion auf die Gläser ihr Okay signalisieren. Im nächsten Schritt wird die Brille die Position der Teile signalisieren. Es wird gesagt, dass diese Brille nicht nur das Aufnehmen der Teile erleichtern wird, sondern auch die Montage. Sie ist in der Lage die Mitarbeiter zu leiten und die Prozesse digital darzustellen.

So können menschliche Fehler reduziert bzw. vermieden und die Logistik-Prozesse werden bewegungsschonender, sicherer und nicht zuletzt schneller. Geräte werden mit Menschen kommunizieren, um eine bessere Produktion zu schaffen. Die Menschen werden dann nur „Okay-Brille“ sagen müssen und mit Hilfe einer speziellen Spracherkennungssoftware wird die Brille verstehen, dass der Mitarbeiter alle Informationen gesehen hat.

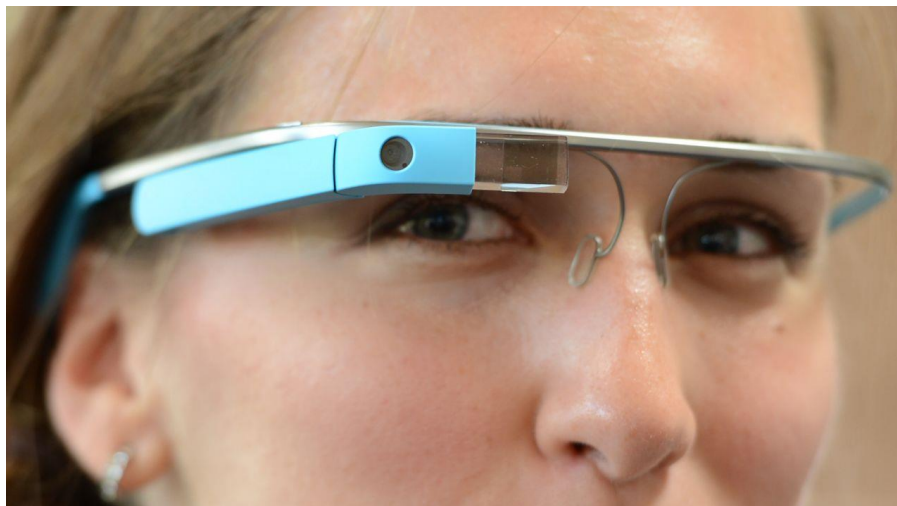


Abb.41: Google Brille¹⁴⁶

¹⁴⁴ vgl. http://www.fischer-technology.com/fileadmin/user_upload/default/Application-Notes/en/AN035en_DataCenter_IP_car_body.pdf

¹⁴⁵ vgl. <http://www.automobil-produktion.de/2015/03/vw-unterstuetzt-logistik-mitarbeiter-mit-datenbrille> zuletzt geprüft am 23.04.2015

Datenbrillen können auch mittels der Position der Pupillen Bilder erfassen und das Echtzeit-Blickfeld des Trägers zur Software liefern. Dieses System eignet sich auch für die Überwachung und Kontrolle der Mitarbeiter. So werden millimetergenaue Informationen für verschiedene Bewegungsabläufe erhalten.

Die *Google Brille* ist zurzeit ein sehr hilfreiches Gerät und kann als Übergang zur *Industrie 4.0* betrachtet werden.

5.3 Hindernisse auf dem Weg zum Erfolg des Programms *Industrie 4.0*

Die erste Herausforderung der *Industrie 4.0* ist die Verschiebung vom zentralen zum dezentralen Werkskontrollsystem. Da die Automatisierung eine Dezentralisierung des Produktionsprozesses benötigt, wird auch ein dezentrales Werkssteuersystem benötigt. Der Prozess der Dezentralisierung ist die erste Priorität der Automobilhersteller, die die *Industrie 4.0* zu übernehmen versuchen. Dies wird zur Entwicklung neuer Geschäftsmodelle führen.

Nicht nur die Dezentralisierung wird neue Geschäftsmodelle schaffen, sondern auch die Überschneidung der menschlichen Entscheidungen mit den Fähigkeiten der Geräte, Entscheidungen zu treffen. Die Nutzung des Internets der Dinge wird die Perspektive der Planung und Steuerung ändern, damit muss und wird sich auch jeder einzelne Prozess in der Fabrik ändern. Das Internet der Dinge wird die Zusammenarbeit zwischen Anlagenbau, Automatisierungstechnik und der Softwarebranche erfordern.

Es ist sehr wahrscheinlich, dass sich die Art der Arbeit ändern wird und deutlich höhere Anforderungen an alle Arbeitnehmer gestellt werden, Weiterbildung wird mehr und mehr erforderlich sein. Die größte Herausforderung in dieser Perspektive ist es, ein gutes Lernsystem für die Weiterbildung der Arbeiter zu schaffen. Die Mitarbeiter, die in einer Montagestation arbeiten, sollen in der Lage sein, viel mehr aus eigener Initiative zu handeln. Auch exzellente Kommunikationsfähigkeiten sind erforderlich. Da die Unternehmen auf die Menschen in der Montagelinie nicht verzichten können und sie im Hinblick auf die *Industrie 4.0* weiterbilden müssen, wird ein sehr guter Plan benötigt.

Ganz abgesehen von den technischen Herausforderungen und den erfolgreichen Sicherheitslösungen müssen auch kommerzielle, psychologische und pädagogische Aspekte in Angriff genommen werden. Zum Beispiel fehlen in der Industrie voll standardisierte Betriebsplattformen für die Umsetzung von adäquaten

¹⁴⁶ Quelle: <http://data.motor-talk.de/data/galleries/0/6/7618/60011222/google-glass-8220990678966146342.jpg> zuletzt geprüft am 27.04.2015

Sicherheitslösungen, die auf die spezifischen Anforderungen der Kostenreduzierung zugeschnitten sind, die nicht selbst als Kostentreiber anzusehen sind.¹⁴⁷

Eine universelle Sprache zu finden, ist eine weitere Herausforderung für die *Industrie 4.0*. Menschen werden mit Maschinen kommunizieren, so muss die Programmierungssprache so umgewandelt werden, dass jeder Arbeitnehmer sie verstehen kann. Arbeiter aus verschiedenen Bereichen werden auch enger zusammenarbeiten. So wird ein IT-Programmierer einen Mitarbeiter von der Montagelinie verstehen müssen. Eine Sprache, die von der gesamten Belegschaft gesprochen wird, ist erforderlich. Doch nicht nur die Mitglieder eines Unternehmens müssen einander verstehen, auch die Kommunikation mit externen Partnern und vielen anderen muss reibungslos funktionieren.

Die Frage nach Ressourcen wird ebenfalls neue Lösungsansätze fordern. Zudem ist die IT-Infrastruktur noch nicht vollständig erstellt. *Industrie 4.0* muss bestehende Maschinen anpassen und in einigen Fällen völlig neue Arten der Infrastruktur schaffen.

5.4 SWOT Analyse

Industrie 4.0 wurde dem Publikum als ein sehr gut geplantes Programm vorgestellt, Das die Industrie zur neuen industriellen Revolution führen wird. Wie in der Beschreibung der Entwickler des Programms, wird die Zukunft in unserer Hand sein. Eine SWOT Analyse wird seine Stärken anzeigen, aber es wird auch seine Schwächen offenbaren. Diese Analyse soll das Verständnis des Programms erleichtern.

5.4.1 Stärken

Die erste Stärke, die die *Industrie 4.0* hat, ist, dass sie Spitzentechnologien auf der Grundlage der Entwicklung der heutigen Technologien schafft. Robotik, Sensorik und innovative Produktionsprozesse, sie alle existieren, aber die Kombination von diesen und die Suche nach einem Weg, damit diese kommunizieren können, ist, was dieses Programm auf die nächste Stufe bringt.

Wenn wir sie separat betrachten, so bringt die Robotik der Industrie mehr Flexibilität. Ein Roboter wird genauer als ein Mensch arbeiten und er wird auch ein Gewicht, das der menschlichen Körper nicht heben kann, tragen. Neben der Umsetzung der Robotik in den Fabriken wird die Technologie der *Industrie 4.0* auch dafür verwendet, um die Kooperation zwischen Mensch und Roboter möglich zu machen. Die Arbeiter werden nicht mehr ins Montagewerk gehen, um einen Roboter zu programmieren, sondern sie werden in der Lage sein, mit Hilfe der drahtlosen Kommunikation, die

¹⁴⁷ vgl. H. Kagermann et al., 2013, S.48

Roboter aus der Distanz zu programmieren. Die Roboter werden auch intuitive Bedingungen und intelligente Steuerungen haben.

Die Sensorik wird nicht nur die integrierte Intelligenz, sondern auch viele andere Vorteile bringen. In einer Fabrik, die die Sensorik der *Industrie 4.0* einsetzt, wird auch Echtzeitfähigkeit entstehen. Dank der Sensorik ist es möglich zu wissen, was mit jedem Teil in Echtzeit passiert, sodass die Verfolgbarkeit gewährleistet wird. Wie in den Beispielen dieser Arbeit gezeigt, ist die Verfolgbarkeit ein wichtiger Aspekt, denn sie ermöglicht eine permanente Überwachung der Prozesse. Die Sensoren haben auch die Fähigkeit, jede Bewegung oder Veränderung in einem Prozess zu identifizieren, sodass eine hohe Zuverlässigkeit ermöglicht wird. Sensoren, die Bewegungen, Temperaturen und Gewichte erkennen, vervollständigen die benötigten industriellen Prozesse.

Sensorik und Robotik gemeinsam können bereits für eine bessere Prozesseffizienz sorgen, die zu hoher Präzision und Qualität führt. Roboter, die mit Sensoren ausgestattet sind, werden beispielsweise in der Lage sein, wenn es erforderlich ist, ihre Tätigkeit zu stoppen, um etwa zu erkennen, ob eventuell ein Teil zu schwer ist. Im Produktionsplanungsprozess wird es durch die räumliche Optimierung der Fabrikhallen auch zu einer Senkung der Materialhandhabungskosten kommen.

Eine weitere Stärke der *Industrie 4.0* ist das innovative Produktionssystem. Dazu gehören die vollständige Vernetzung, cyber-physische Systeme, Selbstkonfiguration und additive Fertigung.

Alle der oben genannten Stärken unterstützen die Optimierung der Produktion, die nur nach Eingang der Bestellungen zu beginnen hat. Jeder Sensor und Aktuator in einem Herstellungsprozess wird mit einer eigenen IP-Adresse ausgestattet.¹⁴⁸ Dies ist notwendig, um sicherzustellen, dass die kundenspezifischen Produkte in einem hochflexiblen Massenfertigungsverfahren hergestellt werden können. Es erlaubt auch, die genaue Anzahl der Artikel zur Herstellung einfach zu bestimmen.

Die Tatsache, dass dieses Programm weniger menschliche Eingriffe bietet, wird auch als Stärke gesehen. Wenn Menschen die gleiche, sich wiederholende Arbeit durchführen, werden sie leicht ablenkbar und so entstehen schnell kleine Fehler. Roboter werden in der Lage sein, die gleichen Arbeitsprozesse auszuführen, ohne dabei zu ermüden und ohne den Fokus zu verlieren. Ein Roboter benötigt nur eine Energiequelle und einen Algorithmus, der ihm sagt, was er zu tun hat.

¹⁴⁸vgl. <http://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/industry-and-automation/digital-factory-the-door-that-recognized-its-body.html> zuletzt geprüft am 05.05.2015

Mit Hilfe von Cyber-Security, Cloud-Computing, Big-Data und mobiler Vernetzung wird *Industrie 4.0* schlanke Prozesse und eine einfache, aber effektive Überwachung schaffen. Informationen werden in Echtzeit empfangen und von der Software analysiert, sodass es dann unmittelbar - falls notwendig - etwas geändert wird.

Industrie 4.0 ist genauer und schneller, innovativ und entwicklungsfähig. Es scheint ein gut durchdachter Plan zu sein, aber er ist von Menschen gemacht, sodass auch er seine Schwachstellen hat.

5.4.2 Schwächen

Das erste Problem der vierten industriellen Revolution ist die Frage nach der Sicherheit der Daten. Das Cloud-Computing kann die Sicherheit der Informationen nicht garantieren, ohne dass eine wirksame Codierung erfolgt ist. Es ist allerdings von erheblicher Bedeutung, dass die Daten nicht entschlüsselt oder gestohlen werden. Jeder einzelne Hersteller muss sein eigenes System der Planung und Steuerung der Information entwickeln. Dies ist ein zeitaufwendiger Prozess und erfordert eine Neugestaltung aller Prozesse, die im Werk gemacht werden.

Industrie 4.0 ist ein sehr komplexer Prozess, seine Implementierung und Wartung wird. Dies wird von vielen Herstellern als Schwachstelle des Programms gesehen. Die Komplexität des Programms ist nicht in gleicher Weise für alle Unternehmen wichtig, so wird es vielleicht nicht von den kleinen Herstellern übernommen. Aufgrund seiner Komplexität kann es schwerer werden, eine Standardisierung der Produkte zu erreichen, wenn kundenspezifische Autos produziert werden sollen.

Industrie 4.0 steht immer noch am Anfang. Dies erzeugt Angst vor so genannten Kinderkrankheiten. Hersteller haben Angst, Geld und Zeit in etwas zu investieren, das möglicherweise nicht reibungslos funktionieren könnte. Es ist schwer zu sagen, ob sie das Risiko eingehen werden, mit allem von Null zu beginnen. Vielfach findet sich auch die Angst vor Technik, die manche Anwender vor der Übernahme der Programme abhalten könnte.

An diesem Punkt ist die digitale Interaktion mit den Kunden zu klein. Die Tatsache, dass nicht alle Kunden die Technologie benutzen, die *Industrie 4.0* erfordert, kann es zu einer deutliche Verzögerung der Implementierung dieses Programms in Kundendienstabteilungen führen.

Die meisten Fabriken benutzen noch manuelle oder hybride Produktionssysteme. Digitale Prozesse sind noch nicht koordiniert und eine solche Koordination kostet viel Zeit. Und schließlich wollen Hersteller mit Programm *Industrie 4.0* Zeit sparen und nicht verlieren.

5.4.3 Chancen

Die Unternehmen, die das Programm *Industrie 4.0* implementieren wollen, haben eine riesige Chance auf einen Wettbewerbsvorteil, den die Leistungsfähigkeit des Prozesses bietet. Die Hersteller, die die erforderlichen Ressourcen haben, werden sehr schnell nach der Annahme dieses Systems ihre Leistung steigern und vielleicht die wichtigsten Akteure in der Industrie werden.

Die knowledge-basierte Industrie bietet denen viele Vorteile, die sich dafür entscheiden, ihre Werke dem Muster einer intelligenten Fabrik anzupassen. Genau zu wissen, was während eines Arbeitsprozesses passiert, kann die Wiederholung von Fehler vermeiden, und es gibt belastbare Informationen über die genaue Menge der benötigten Ressourcen. Die Vorteile werden sich nicht nur bei der Berechnung der notwendigen Zeit und des Materialbedarfes zeigen, sondern auch bei der Vorausberechnung der Kosten und Gewinne.

Natürlich bleibt die Flexibilität ein Schlüsselfaktor in der industriellen Produktion. Zu wissen, dass eine Fabrik an jede Art von Produktion angepasst werden kann, ist wichtig. Das könnte ein erfüllbarer Traum für die Automobilhersteller sein, die verschiedene Automodelle auf der gleichen Plattform produzieren können und wollen.

Die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle wird höchste Priorität haben. Die Schaffung eines neuen Systems der Produktion führt zu einer Veränderung der Logistik- und Management-Systeme. Da die Konnektivität die Kommunikation zwischen Abteilungen leichter und schneller machen wird und gleichzeitig den Zugang zu einem transparenten Prozess schaffen wird, wird das gesamte Modell verändert.

Die Einführung von *Industrie 4.0* kann komplementär zur menschlichen Arbeit erfolgen. Heute werden in der Produktion bereits umfassende Informationstechnologien benutzen, die aber nicht vernetzt verwendet werden, aber sie können allmählich an die neue Technologie anpasst werden. Was noch fehlt, ist die Vernetzung aller Systeme untereinander.

Die meisten teilen die Einschätzung, dass die IT-Technologien die größte Entwicklung in der industriellen Produktion in der Zukunft erzeugen werden. Die Wahrscheinlichkeit, dass *Industrie 4.0* einen unaufhaltbaren Trend auslösen wird, ist hoch, weil neue Technologien an der Basis stehen. Es gibt aber auch einen neuen Trend zur Anbindung und Verknüpfung von Technologien.

Die Automobilhersteller erkennen, dass sie in der Zukunft so schnell wie möglich auf Kundenwünsche reagieren, müssen. Mit dem neu aufkommenden Trend der Erzeugung von Autos mit unterschiedlichen Energiequellen wird die Vielfalt der

Anforderungen erhöht. So wird *Industrie 4.0* eine Umsetzungschance haben, weil es zu Flexibilität und besserer Reaktionszeit führt.

Durch die Benutzung von mobilen Geräten wird auch der Aufwand der Dokumentation reduziert. Da die Informationen direkt an verantwortliche Person gehen, wird das Risiko für den Verlust von Informationen reduziert. Aus ökologischer Perspektive erfreulich ist, dass man den Papier- oder den zentralen Speicherbedarf für die Dokumentation zum Großteil einsparen kann. Auch der Montageaufwand wird durch das Plattformen-System verringert.

5.4.4 Risiken

Auch wenn das Projekt *Industrie 4.0* auf den ersten Blick als makellos erscheint, werfen die Auswirkungen des so futuristisch aussehenden Programms einige Fragen auf und haben doch ein Risikopotenzial. Die Komplexität macht es auch schwer verständlich und die Tatsache, dass es auf so vielen Gebieten implementiert werden muss, wird die Art die Entwicklung beeinflussen.

Eine anzunehmende geringe Akzeptanz der Arbeiter wird ein Hauptproblem sein. Zu denken, dass alles neu zu lernen sei und fast alles des bisher Gelernten zu vergessen sei, erzeugt Abwehr; und die Vorstellung, dass etwas vollkommen Neues getan werden muss, ist erschreckend. Daher werden sich wohl die meisten Arbeiter fragen, ob diese Entwicklung das ist, was sie brauchen.

Nicht nur bei den Arbeitern wird sich die geringe Akzeptanz als problematisch erweisen, so werden vermutlich viele Menschen, beim ersten Mal, wenn sie mit diesem Programm in Berührung kommen, dazu neigen, die Effizienz der Automatisierung und ihre positiven Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt in Frage zu stellen. Viele Menschen haben Angst, dass sie sich in vielen Bereichen neu spezialisieren müssen und reagieren reserviert auf das, was die Interaktion mit Maschinen bedeutet.

Das Prinzip, das hinter *Industrie 4.0* steht, ist einfach, aber seine Umsetzung ist anspruchsvoll. Hohe Investitionen, die Neugestaltung der Werke, die Änderung der Geschäftsmodelle usw. bergen Risiken, die die Hersteller einzugehen haben. Allein anhand der in dieser Arbeit vorgenommenen Beispielanalyse ist zu erkennen, wie viel Aufwand ein Hersteller bei der Erstellung eines solchen Systems zu leisten hat. Es kann sein, dass manchen Unternehmen die Ressourcen, die zur Durchführung eines solch anspruchsvollen Systems benötigt werden, nicht zur Verfügung stehen.

Ein weiteres Risiko ist, dass die Glaubwürdigkeit des Programms in den Augen der Investoren nicht gegeben ist. Die von den Investoren aufgeworfene Frage ist, ob die Szenarien, die durch das Programm vorgestellt werden, Realität werden können. Die Menge an neuen Informationen und Entwicklungen, die *Industrie 4.0* bietet, ist riesig

und es wird klar, warum manche Investoren nicht glauben, dass das Programm umgesetzt werden kann. Zumal die Marktentwicklung ungewiss ist und nicht von einem stetigen weiteren Wachstum ausgegangen werden kann, befürchten einige der potenziellen Investoren, dass eine so hoher Geldeinsatz nicht rentabel ist. Das Risiko einen Trend zu verpassen, ergibt sich aus der Vielfalt und -zahl der Anforderungen und Unsicherheiten die das Programm mit sich bringt.

Die zukünftige Rolle des Verbrauchers darf nicht unterschätzt werden. Das Programm in seiner aktuellen Form basiert in erster Linie auf der Entwicklung der Produktion, nicht auf möglichen Kundenwünschen. Es scheint, dass die Entwickler des Programms vergessen haben, welche Schlüsselrolle Kunden bei der Marktentwicklung und dadurch bei der Entwicklung einer Industrie haben.

Die Prognose zur umfassenden Implementierung dieses digitalen Prozesses ist schwer zu treffen. Denn selbst aussagekräftige Indikatoren für eine begründete Einschätzung sind noch nicht vorhanden, und dies macht es schwieriger zu verstehen, welche Weg das Programm gehen wird und welche Wirkungen es haben wird. Wegen der hohen Zahl an Variablen zu wissen, wie viele Jahre es bis zur angestrebten Implementierung von *Industrie 4.0* dauern kann, verursacht Unsicherheit in vielen Bereichen und bei vielen Beteiligten.

6 Schlussfolgerungen

Nach der Analyse aller Stärken und Schwächen von *Industrie 4.0* kann man zum Schluss kommen, dass viel Potenzial vorhanden ist, um die 4. industrielle Revolution zu schaffen. In den vergangenen Jahren haben die Automobilhersteller den Trend zur Erstellung verschiedener Projekte, die auf der Idee von *Industrie 4.0* basieren, mitgemacht. Die in dieser Diplomarbeit genannten Beispiele sind nur einige der bekannteren Projekte, die von Automobilherstellern bei verschiedenen internationalen Messen präsentiert worden sind.

Es war das Ziel dieser Arbeit, ein Beispiel dafür aufzuzeigen, wie die Ideen des Programms *Industrie 4.0* auf die Logistik der Automobilindustrie angewendet werden können. Ein komplettes System, das nur auf *Industrie 4.0* basiert, ist noch nicht in Automobilfabriken benutzt worden, so ist das Modell, das in diese Diplomarbeit beschrieben ist, rein theoretisch. Die ersten zwei Logistikszenerarien allerdings sind Modelle, die schon in verschiedenen Autofabriken Verwendung finden. Das erste, ein traditionelles Modell, wird dem zweiten gegenübergestellt, das ein Entwurf für einen „Best Case“ ist, bei im Sinne der grundlegenden Idee von *Industrie 4.0* mit modernster Technik gearbeitet wird.

Was anhand des Kapitels zum Stand der Technik zu erkennen ist, stellt klar, dass einige der Ideen der *Industrie 4.0* bereits eingesetzt werden, um verschiedene Logistikprozesse zu erleichtern. Einige Autohersteller haben bereits in intelligente Technologien investiert, während andere zurückhaltender sind und immer noch mit alten Modellen arbeiten. Das Kanban-System ist ein solch altes Modell, das aber problemlos der Technologie angepasst werden kann. Die für diese Arbeit gewählten Beispiele veranschaulichen, in welchen Bereichen mit Hilfe der *Industrie 4.0* Verbesserungen erzielt werden können.

Theoretisch können alle von der *Industrie 4.0* bevorzugten Technologien auf die heutzutage in der Automobilindustrie verwendeten Logistikmodelle übertragen werden. Ob sich die dafür notwendige Investition lohnt, muss jeder Fahrzeughersteller für sich entscheiden. Wie im dritten Szenario zu sehen ist, können die Ideen der *Industrie 4.0* die Logistikprozesse aus technischer Sicht zweifelsfrei verbessern. Nun sind Wirtschaftler an der Reihe, aus ökonomischer Sicht eine Entscheidungshilfe zu bieten, um ein Urteil darüber fällen zu können, ob es die *Industrie 4.0* verdient, in der Logistik der Automobilindustrie umgesetzt zu werden.

Auch wenn der Mensch nicht mehr in der Nähe der Montagelinien zu finden sein wird, bleibt auch weiterhin ein wichtiger Faktor in der Produktion. Selbverständlich muss seine Rolle neu definiert werden. Die Ergebnisse unterschiedlicher Studien lassen darauf schließen, dass z.B. die Einführung autonomer Produktionssysteme zu

einem Verlust von Arbeitsplätze in diesem Bereich führen wird. Dies wird aber keine Katastrophe sein, weil neue Stellen im Umfeld der Produktion entstehen werden. So zum Beispiel werden sich neue Arbeitsplätzen im Bereich der Planung oder Überwachung ergeben. Allerdings bedeutet dies auch die Notwendigkeit, für ein höheres Niveau bei der Weiterbildung und die Qualifizierung der Mitarbeiter zu sorgen. Menschen, die eine intelligente Maschine programmieren können, werden mehr und mehr gebraucht werden, sodass sich im IT-Bereich neue Chancen ergeben.

Auch in Asien und Nordamerika versucht man, ähnliche Projekte für die Industrie zu entwickeln. Dies ist ein Beweis dafür, dass *Industrie 4.0* immer eine Bedrohung für diejenigen ist, die damit im Wettbewerb stehen. Dies kann auch ein Beweis dafür sein, dass die Allgegenwärtigkeit von *Industrie 4.0* immer wahrscheinlicher wird, zumal Unternehmen, die bereits einiges davon Realität haben werden lassen, sich in einer positiven Weise entwickelt haben. Im Zeitalter der Geschwindigkeit, wenn also Zeit Geld bedeutet, wird die Entwicklung einer Möglichkeit zur Zeitersparnis im Produktionsprozess der Fabriken wahrscheinlich den ausschlaggebenden Unterschied auf dem Markt darstellen.

Die Tatsache, dass das Projekt *Industrie 4.0* für Autohersteller eine Lösung für den Bau von Autos in der Reihenfolge der Bestellungen bietet, wird die Produzenten wohl letztendlich mit Kundentreue belohnen. Auch die Tatsache, dass die Endverbraucher aktiv in den Prozess der Gestaltung der Fahrzeuge einbezogen werden können, scheint der Schlüssel zu einer noch besseren - emotionalen - Bindung an eine Marke zu sein, wodurch sich ein stabiler Kundenkreis ergeben wird.

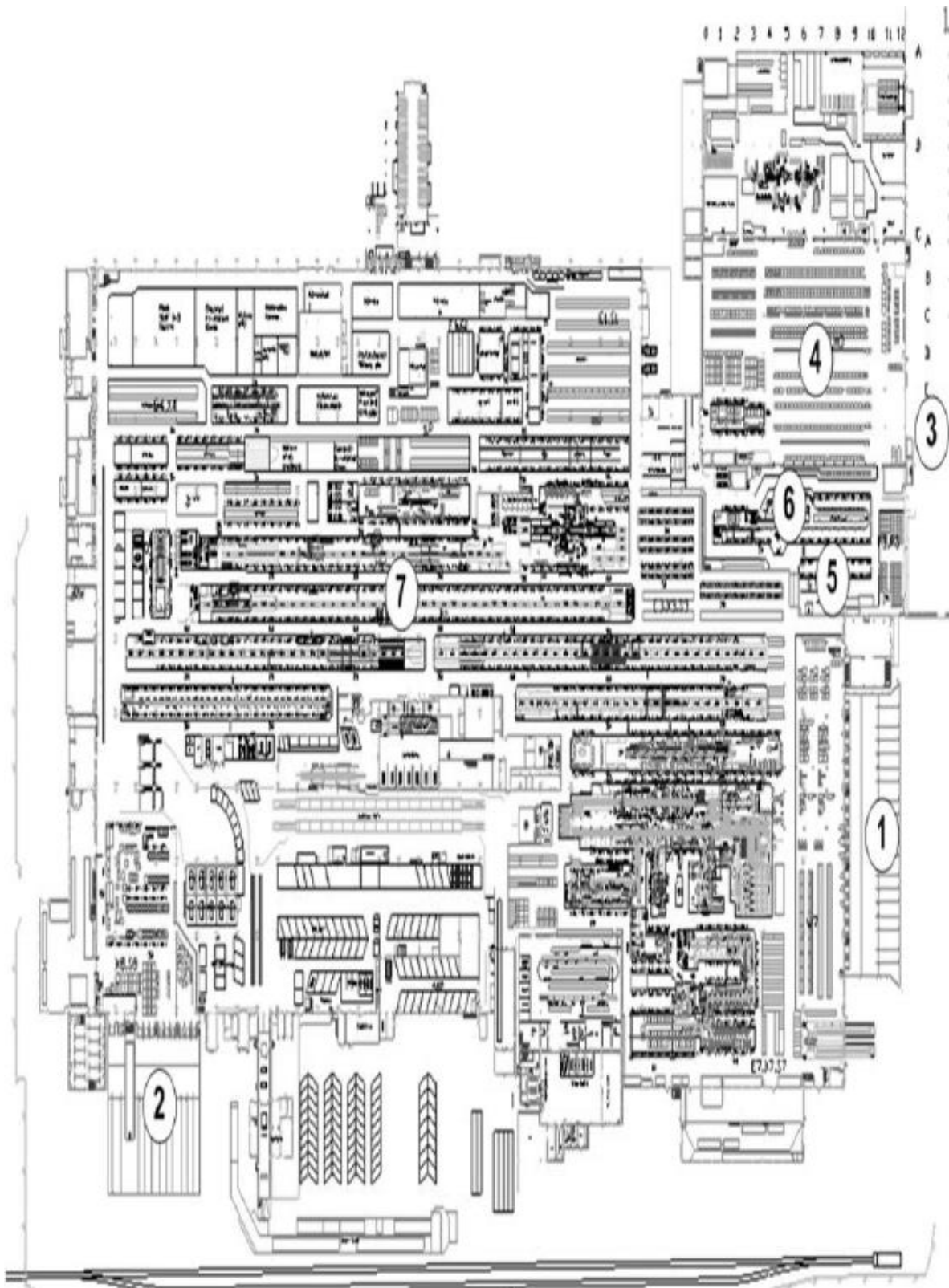
Auch wenn es noch nicht voll entwickelt ist, zieht das Programm *Industrie 4.0* die Aufmerksamkeit nicht nur der Unternehmer, sondern auch der Behörden auf sich. Nicht nur Deutschland hat einen Plan für die Umsetzung der Ideen der *Industrie 4.0* gemacht, sondern auch andere Länder wie Österreich und die Schweiz. So hat das Wirtschaftsministerium in Österreich angekündigt, dass es fast 250 Millionen Euro in die Entwicklung der *Industrie 4.0* investieren wird.¹⁴⁹

Die wichtigste Schlussfolgerung ist, dass die Zukunft schon begonnen hat. Die 4. industrielle Revolution ist schon im Gange und bietet glänzende Zukunftsaussichten für die Generationen, die im Zeitalter der Geschwindigkeit und Technologien geboren sind. Früh genug wird *Industrie 4.0* die Barrieren einer industriellen Nutzung brechen und Einzug in jeden einzelnen Haushalt finden. Eine einfache Handlung wie der Kauf einer neuen Milchpackung wird von smarten Elektrogeräten durchgeführt werden können. Es wird Zeit, die Technologien zu akzeptieren, sie willkommen zu heißen und sich ihnen anzupassen.

¹⁴⁹ vgl. <http://www.profil.at/extra/zukunft-technik-industrie-5585644> zuletzt geprüft am 10.05.2015

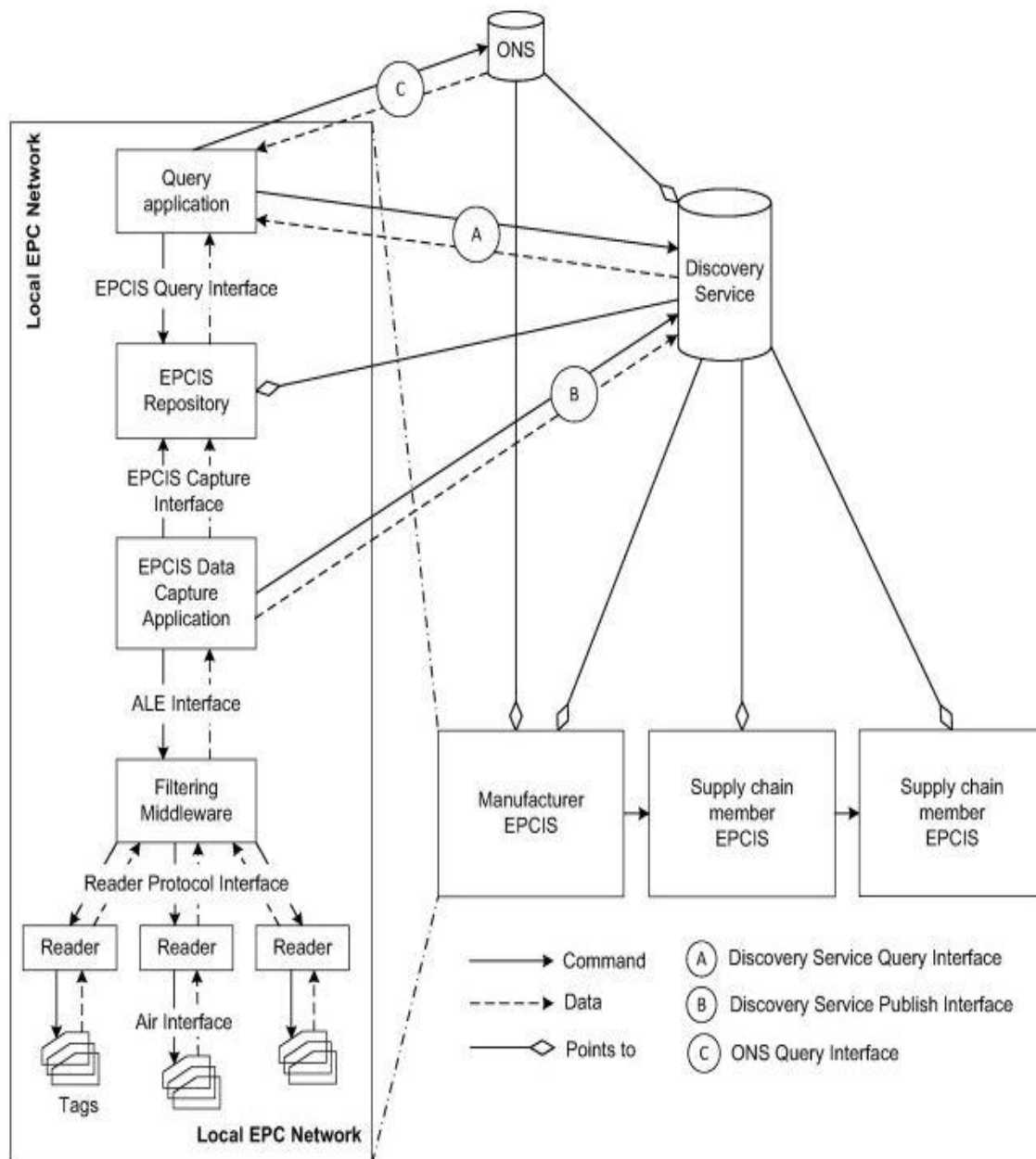
7 Anhang

7.1 Aufbau des Endmontagewerks von Saab¹⁵⁰



¹⁵⁰ Quelle: E.Karlsson, T.Thoresson (2011), S.46

7.2 EPC-Netzwerk¹⁵¹



¹⁵¹ vgl. Weigert (2006), S.31

8 Literaturverzeichnis

- **Bucher und Journal-Papers**

Anastakis Dimitri, Autonomous state: the struggle for a Canadian car industry from OPEC to free trade, University of Toronto Press, Toronto, 2012

Baheti R., Gill H., Cyber-physical systems, in:ieeecss.org (ed.) The impact of control technology 161–166, 2011

Bauernhansl Thomase et.al, Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik Anwendung, Technologien, Migration, Springer Verlag, Berlin, 2014

Bozer Y. A., McGinnis L. F., "Kitting versus line stocking: A conceptual framework and a descriptive model", in Int. J. Production Economics, Vol. 28, pp. 1-19, 1992

Bundesministerium für Bildung und Forschung, Ideen.Innovation.Wachstum, Hightech-Strategie 2020 für Deutschland, 2010, online verfügbar unter http://www.bmbf.de/pub/hts_2020.pdf, zuletzt geprüft unter 08.05.2015

Brynzér H., Johansson, M. I., "Design and performance of kitting and order picking systems", Int. J. Production Economics, Vol. 41, pp. 115-125, 1995

Constanze Clarke, Automotive Production Systems and Standardisation, From Ford to the Case of Mercedes-Benz, Physica, Heidelberg, 2005

Collins Tom, The legendary model T Ford, The ultimate history of America's first great automobile, Krause Publications, China, 2007

Culpan Refik, Global Business Alliances: Theory and Practice, Greenwood Publishing Group, United States of America, 2002

Schuster Edmund W., Allen Stuart J., Brock David L., Global RFID: The Value of the EPCglobal Network for Supply Chain Management, Springer Verlag, Berlin, 2007

Deng Jian-Bang, Die ethnisch-kulturellen Differenzierungen im Prozess der Globalisierung: am Beispiel taiwanischer Unternehmer in China, Tectum Verlag, Marburg, 2003

Dickmann Philipp, Schlanker Materialfluss mit Lean Production, Kanban und Innovation, Springer Verlag, Berlin 2007

Dicționar Explicativ al Limbii Române, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1986

Engel Kai, Dirlea Violetka, Dyer Stephen, Graff Jochen, Masters of Innovation, Building the perpetually innovative company, CPI Group LTD, London, 2015

Fleisch Elgar, Mattern Friedemann, Das Internet der Dinge, Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis, Springer, Berlin, 2005

Gehr Frank, Bernd Hellingrath, Logistik in der Automobilindustrie, Innovatives Supply Chain Management für wettbewerbsfähige Zulieferstrukturen, Springer, Berlin, 2007

Giusto Daniel, Antonio Lera, Giacomo Morabito, Luigi Atzori, The Internet of things, 20th Tyrrhenian Workshop on Digital Communications, Springer, New York, 2010

Gudehus T., Logistik 1, Grundlagen, Verfahren und Strategien, 3.Auflage, Springer, Berlin 2007

Hab Gerhard, Wagner Reinhard, Projektmanagement in der Automobilindustrie: Effizientes Management von Fahrzeugprojekten entlang der Wertschöpfungskette, 1.Auflage, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr.Th.Gabler/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2004

Hollmann-Hespos Thorsten, Rückverfolgbarkeitssysteme in der Ernährungswirtschaft: Eine empirische Untersuchung des Investitionsverhaltens deutscher Unternehmen, Kovac Dr. Verlag, 1. Auflage, Hamburg, 2008

Hounshell David A., From the American System to Mass Production, 1800-1932: The development of manufacturing technology in the united states, The John Hopkings University Press, Baltimore, 1985

Ihme J., Logistik im Automobilbau, Carl Hanser Verlag München Wien, 2006.

Imai Masaki, Brian Heymans, Gemba Kaizen: Permanente Qualitätsverbesserung, Zeitersparnis und Kostensenkung am Arbeitsplatz, Langen-Müller Verlag, Herbig 1997

Johansson M.I., Kitting systems for small size parts in manual assembly systems, in Pridham, M. and O'Brien, C. (Eds), Production Research: Approaching the 21st Century, Taylor & Francis, London, pp. 225-300, 1991

Jünemann Reinhardt, Schmidt Thorsten, Materialflußsysteme-Systemetechnische Grundlagen, 2.Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2000

Kagermann H. et al., Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0, Communication Promotors Group of the Industry-Science Research Alliance, Frankfurt, 2013

Karlsson Erik, A comparative study of the material feeding principles kitting and sequencing at Saab Automobile, Trollhättan: creation of guiding principles of which

articles to be supplied with kitting, Master of Science Thesis, Chalmers University of Technology, Sweden, 2011

Klug Florian, Logistikmanagement in der Automobilindustrie, Grundlagen der Logistik im Automobilbau, Springer Verlag, Berlin, 2010

Koch Susanne, Logistik, Eine Einführung in Ökonomie und Nachhaltigkeit, Springer Verlag, Berlin, 2012

Lee Jay, Behrad Bagheri, Hung-An Kao, A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing Systems, *Manufacturing Letters* 3 18–23, 2014,

Lee Lee, Cyber Physical Systems: Design Challenges. 11th IEEE Symposium on Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), 363 – 369, 2008

Lounsbury Robert, Industrial Ethernet on the Plant Floor: A Planning and Installation Guide, ISA, USA, 2008

Luadan Rachel, The nature of technological knowledge. Are models of scientific change relevant? Reidel Publishing Company, Dordrecht, 1984

Martin Heinrich, Transport- und Lagerlogistik: Planung, Aufbau und Steuerung von Transport- und Lagersysteme, 2.Auflage, Verlag Vieweg, Wiesbaden, 1998

Mikusz M., Towards an Understanding of Cyber-physical Systems as Industrial Software-Product-Service Systems, *Procedia CIRP* Volume 16, 2014, Product Services Systems and Value Creation. Proceedings of the 6th CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems, Pages 385–389

Monostori László, Cyber-physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges, *Procedia CIRP*, Volume 17, 2014, Variety Management in Manufacturing-Proceedings of the 47th CIRP Conference on Manufacturing Systems, Pages 9–13

Oliveira Rodrigo R., Cardoso Ismael M.G., Barbosa Jorge L.V., Cristiano A. da Costa, Prado Mario P., An intelligent model for logistics management based on geofencing algorithms and RFID technology, *Expert Systems with Applications*, Volume 42, Issue 15, Pages 6082-6097

Orun Ismail, IST-Zustandsanalyse und Einführung der RFID-Technologie in einem Lebensmittelproduktionsunternehmen sowie die Einschulung der Mitarbeiter, Diplomica Verlag GmbH, Hamburg, 2011, Magisterarbeit, Technische Universität Wien

Osterhammel Jürgen, Niels P. Petersson, Geschichte der Globalisierung: Dimensionen, Prozesse, Epochen, 4. Auflage, C.H.Beck oHG, München, 20071

Parissien Steve, The life of the automobile, A new history of the motor car, Atlantic Books, Great Britain, 2013

Raulerson Peter, Malraison Jean-Claude, Leboyer, Antoine, Building Routes to Customers: Proven Strategies for Profitable Growth, Springer, New York, 2009

Ragowsky A., Sommers T., Journal of Management Information Systems, Volume 19, Issue 1, 2002, 11-15

Reinhold Bopp, Logistik, Vorlesung Wintersemester 2011/2012, Babes-Bolyai Universität, Klausenburg, Rumänien

Staeblein Thomas, Tomino Takahiro, Aoki Katsuki, Monozukuri capability to address product variety: A comparison between Japanese and German automotive makers, International Journal of Production Economics, Volume 147, Part B, January 2014, Pages 373–384

Sendler Ulrich et.al., Industrie 4.0, Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM, Springer, Berlin, 2013

Stefansson G., Tilanus B., Tracking and Tracing Principles and Practice“, International Journal of Services Technology and Management, 2, 187-206, 2001

Ullrich Gunter, Fahrerlose Transportsysteme: Eine Fibel – mit Praxisanwendungen – zur Technik – für die Planung, 2.Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2014

Vaupel Mario, Der Leadership Asset Approach: Von den Herausforderungen der Führung zur Steuerung der Führungsperformance, Gabler, Wiesbaden, 2008

Van Basshuysen Richard, Fahrzeugentwicklung im Wandel: Gedanken und Visionen im Spiegel der Zeit, 1.Auflage, Vieweg+Teubner Verlag/Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2010

Vatalaro James, Robert Taylor, Implementing a mixed Kanban System, The lean replenishment technique for pull production, Productivity Press, New York, 2005

VDI-Richtlinie 2510 „Fahrerlose Transportsysteme“; Beuth-Verlag, Berlin, 2004

Wagner S., Bode C., Managing Risk and Security: The Safeguard of Long-Term Success for Logistics Service Providers, Haupt Verlag, Bern, 2009

Wannenwetsch Helmut, Nicolai Sascha E-Supply-Chain-Management: Grundlagen - Strategien- Praxisanwendungen, 2. Auflage, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr.Th. Gabler/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2014

Wehrich Heinz, Koontz Harold, Cannice Mark, Management: A Global, Innovative, and Entrepreneurial Perspective, McGraw Hill Education Private Limited, New Delhi, 2013

Weigert Sebastian, Radio Frequency Identification (RFID) in der Automobilindustrie, Chancen Risiken, Nutzenpotentiale, Deutscher Universitäts-Verlag/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2006

Wischmann Steffen, Wangler Leo, Botthof Alfons, Industrie 4.0 Volks- und betriebswirtschaftliche Faktoren für den Standort Deutschland, Eine Studie im Rahmen der Begleitforschung zum Technologieprogramm AUTONOMIK für Industrie 4.0, vierC print, Berlin, 2015

Zhe Li, Design and analysis of Robust Kanban System in an Uncertain Environment, Karlsruhe, Institut für Technologie, Diss., 2013

- **Internetquellen**

Bosch Global, "Industrie 4.0" - Bosch plant in Blaichach, Germany, online verfügbar unter URL: <https://www.youtube.com/watch?v=GKhSTjraHIU>, zuletzt geprüft am 20.05.2015

Fraunhofer IML, <http://www.iml.fraunhofer.de/>, zuletzt geprüft am 26.03.2015

IMF, World Economic Outlook, International Monetary Fund, 1997, online verfügbar unter URL: <http://www.imf.org/external/pubs/weomay/weocon.htm>, zuletzt geprüft am 23.03.2015

Plattform Industrie 4.0, <http://www.plattform-i40.de/>, zuletzt geprüft am 23.04.2015

QbingTV, Qbing Forschung: RFID in Production and Logistics | Fast Forward Science 2013, online verfügbar unter URL: <https://www.youtube.com/watch?v=Ktid2FHrpL4>, zuletzt geprüft am 15.05.2015

Rogers C., Volkswagen plans 4 million cars from one platform: VW's modular unit will be the basis for more than 40 models worldwide, online verfügbar unter <http://autoweek.com/article/car-news/volkswagen-plans-4-million-cars-one-platform-vws-modular-unit-will-be-basis-more-40>, zuletzt geprüft am 16.04.2015

Studie Industrie 4.0, Eine Standortbestimmung der Automobil- und Fertigungsindustrie, Zusammenfassung, online verfügbar unter http://www.mhp.com/fileadmin/mhp.de/assets/studien/MHPStudie_Industrie4.0_V1.0.pdf, zuletzt geprüft am 18.05.2015

Vujosevic Ranko, Ramirez Jose A., Hausman-Cohen Larry, and Venkataraman Srinivasan, Lean Kitting: A Case Study, The University of Texas at Austin Department of Mechanical Engineering Austin, Texas, online verfügbar unter <http://www.optelco.com/pdf/Lean-Kitting.pdf>, zuletzt geprüft am 27.03.2015

http://www.fischer-technology.com/fileadmin/user_upload/default/Application-Notes/en/AN035en_DataCenter_IP_car_body.pdf zuletzt geprüft am 17.05.2015

<http://www.automobil-produktion.de/2014/06/industrie-4-0-bmw-ueberprueft-qualitaet-mit-virtuellem-fingerzeig/> zuletzt geprüft am 14.05.2015

http://www.siemens.com/innovation/apps/pof_microsite/_pof-spring-2014/_pdf/PoF-1-2014-E-doppel.pdf zuletzt geprüft am 27.04.2015

<http://www.britannica.com/topic/automotive-industry> zuletzt geprüft am 10.03.2015

<http://www.automobil-produktion.de/2015/03/vw-unterstuetzt-logistik-mitarbeiter-mit-datenbrille> zuletzt geprüft am 23.04.2015

<https://www.flip4new.de/blog/das-internet-der-dinge-alles-ist-moeglich-alles-kann-vernetzt-werden/> zuletzt geprüft am 05.04.2015

<http://www.profil.at/extra/zukunft-technik-industrie-5585644> zuletzt geprüft am 10.05.2015

[http://img.logismarket.de/ip/goetting-automatisierung-von-serienfahrzeugen-rueckwaerts_fahrender-autonomer-schleppzug-auf-der-hannover-messe,](http://img.logismarket.de/ip/goetting-automatisierung-von-serienfahrzeugen-rueckwaerts-fahrender-autonomer-schleppzug-auf-der-hannover-messe) zuletzt geprüft am 23.03.2015

<http://www.intechopen.com/books/deploying-rfid-challenges-solutions-and-open-issues/rfid-applications-in-cyber-physical-system> zuletzt geprüft am 16.04.2015

<http://data.motor-talk.de/data/galleries/0/6/7618/60011222/google-glass-8220990678966146342.jpg> zuletzt geprüft am 27.04.2015

http://www.textile-future.com/textile-manufacturing.php?read_article=1829 zuletzt geprüft am 12.04.2015

http://build2light.com/images/photo_bestClass.png zuletzt geprüft am 12.05.2015

<http://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/industry-and-automation/digital-factory-the-door-that-recognized-its-body.html> zuletzt geprüft am 05.05.2015

9 Abbildungsverzeichnis

Abb.1: Ford Model T	8
Abb.2: Prozess Schritte im Logistik	14
Abb.3: Beispiel eines Kanban System	19
Abb.4: Bauarten von Gabelstaplern.....	24
Abb.5: Schleppzug	25
Abb.6: Fahrerlose Transportsysteme	26
Abb.7: Zuführungsprinzipien.....	28
Abb.8: Die 4 Schritte des Industrielle Revolution.....	30
Abb.9: Maschinen-Maschinen-Kommunikation.....	31
Abb.10: Integration von realer und virtueller Welt.....	32
Abb.11: CPS-Eigenschaften	34
Abb.12: Struktur eines CPS.....	35
Abb.13: Mensch-Maschinen-Kommunikation	36
Abb.14: Internet der Dinge.....	37
Abb.15: RFID als Basis des Internets der Dinge	38
Abb.16: Beispiel einer intelligenten Fabrik.....	40
Abb 17: Vereinfachtes Schema zur räumlichen Aufteilung	42
Abb.18: Beispiel Behälter	43
Abb.19: Kitvorbereitungsbereich.....	44
Abb.20: Beispiel Pick-to-light	44
Abb.21: ESH	45
Abb.22: Materialfluss beim Sublieferanten	46
Abb.23: Materialfluss <i>Saab</i> 1	47
Abb.24: Materialfluss <i>Saab</i> 2.....	47
Abb.25: Materialfluss <i>Saab</i> 3.....	48
Abb.26: Montagewerksfläche	51
Abb.27: Beispiel von Transpondern.....	51
Abb.28: Platzierung der Lesegeräte	53
Abb.29: Wareneingang.....	54
Abb.30: Lesegerät bei Montagestation	54
Abb.31: Auffüllung	55
Abb.32: Zusammenstellung des Armaturenbretts.....	56
Abb.33: Steuerung des Pfades.....	56
Abb.34: Materialfluss	57
Abb.35: Lage des Montagewerks	59
Abb.36: Situation in einem intelligenten Montagewerk	60
Abb.37: Beispiel einer RFID Steuerung.....	61
Abb.38: Maschinen kommunizieren miteinander	62

Abb.39: Lokalisierung der Verlangsamung.....	63
Abb.40: Intelligente Montagewerk	68
Abb.41: <i>Google Brille</i>	69

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vor- und Nachteile des Kitting Prinzips	48
Tabelle 2: Vor- und Nachteile eines Kanban Systems.....	49
Tabelle 3: Vor- und Nachteile der RFID Tracking und Tracing	57
Tabelle 4: Vor- und Nachteile eines <i>Industrie 4.0</i> Zuführungsprinzips.....	65
Tabelle 5: Vor und Nach der Einführung des berührungslosen <i>Systems zur Gestenerkennung</i>	66

11 Abkürzungsverzeichnis

EPC	Electronic Product Code
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
RFID	Radio Freaquency Identifiction
CPS	Cyber Pysische Systeme
ERP	Enterprise Resource Planning
ESH	Electrical Switch for Headlights
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
FIFO	First in First Out
FTS	Fahrerlose Transportsysteme
u.a	und andere
z.B.	zum Beispiel
XML	Extensible Markup Language
PML	Physical Markup Language
OEM	Original Equipment Manufacturer
JIS	Just in Sequence
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
RTLS	Real Time Locating System
PC	Personal Computer