

*Band
65*

Matthias Klumpp / Torsten Marner / Thomas Hanke (Hrsg.)

*Effizienzmessung als Bewertungskriterium für das
Produktionskonzept In-Line mit Hilfe einer Data
Envelope Analysis*

~
Jaroslaw Zaborek

ild Schriftenreihe



Institut für Logistik- &
Dienstleistungsmanagement
der FOM University of Applied Sciences

Jaroslav Zaborek

Effizienzmessung als Bewertungskriterium für das Produktionskonzept In-Line mit Hilfe einer Data Envelopment Analysis

ild Schriftenreihe der FOM, Band 65

Essen 2019

ISBN (Print) 978-3-89275-101-4 ISSN (Print) 1866-0304

ISBN (eBook) 978-3-89275-102-1 ISSN (eBook) 2569-5355

Dieses Werk wird herausgegeben vom ild Institut für Logistik- & Dienstleistungsmanagement der FOM Hochschule für Oekonomie & Management gGmbH

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

© 2019 by



**Akademie
Verlags- und Druck-
Gesellschaft mbH**

MA Akademie Verlags-
und Druck-Gesellschaft mbH
Leimkugelstraße 6, 45141 Essen
info@mav-verlag.de

Das Werk einschließlich seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urhebergesetzes ist ohne Zustimmung der MA Akademie Verlags- und Druck-Gesellschaft mbH unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen. Oft handelt es sich um gesetzlich geschützte eingetragene Warenzeichen, auch wenn sie nicht als solche gekennzeichnet sind.

Jaroslav Zaborek

Effizienzmessung als Bewertungskriterium für das Produktionskonzept In-Line mit Hilfe einer Data Envelopment Analysis

Matthias Klumpp / Torsten Marner / Thomas Hanke (Hrsg.)

Abstract

The transformation from traditional to integrated production systems reflects the evolvement of the industrial sector. The fourth industrial revolution, Industry 4.0 for short, is a technological evolutionary stage that emphasizes the importance of logistics in the overall production process.

In addition to fulfilling the key requirements of customer orientation, satisfaction and flexibility, it is also vitally important, if not critical, to recognize the wider holistic factors that affect organizations' ability to operate, perform and deliver.

To support the organizational holistic goals of cost savings and efficiency, and taking into consideration the transformation of the organization's principles with logistics and production, then this is facilitated through a process oriented adjustment strategy.

Publication of this research paper marks the midpoint of the efficiency measurement as an evaluation criterion for the production concept In-Line with the help of a Data Envelopment Analysis.

To measure efficiencies, various methods in literature help to assess the relationship between input and output factors.

In addition to traditional comparisons of business key performance indicators, the Data Envelopment Analysis is a modern method based on production functions with multiple input and output factors.

Although the efficiency analysis was originally developed for the public non-profit sector, various amendments of the DEA currently exist, in order to adapt it for use in semi-public and private sectors.

This present research paper applies the DEA in the industry sector and examines the efficiency improvement of the In-Line concept.

Besides the efficiency measurement, a comprehensive description of the In-Line concept is provided, which, under the aspect of Industry 4.0, can be regarded as a preliminary stage for the reorganization of business processes within logistics and production.

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	II
Abkürzungsverzeichnis.....	V
Abbildungsverzeichnis.....	VI
Tabellenverzeichnis.....	VII
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangslage und Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung.....	3
1.3 Vorgehensweise	4
2 Konzeptionelle Grundlagen	6
2.1 Produktionssysteme im Wandel	6
2.1.1 Klassische Produktionssysteme.....	7
2.1.2 Ganzheitliche Produktionssysteme	8
2.2 Industrie 4.0	10
2.2.1 Definition und Grundlagen	12
2.2.2 Potentiale und Herausforderungen	15
3 In-Line	19
3.1 Grundlagen und Begriffe.....	19
3.2 Umsetzungsmöglichkeiten und Ziele	24
3.3 Kritische Betrachtung.....	27
4 Data Envelopment Analysis.....	32
4.1 Begriff der Effizienz.....	32
4.2 Grundlagen der Effizienzmessung	33
4.3 Voraussetzungen für eine DEA-Messung	38
4.4 Bewertung der DEA-Anwendung.....	39
5 Praktische Anwendung der Data Envelopment Analysis.....	42

5.1 Vorstellung des Praxis-/Anwendungsfalls	42
5.2 Anpassung der DEA-Methodik	47
5.3 Datenherkunft und Datenqualität	51
5.4 Darstellung und Diskussion der Ergebnisse	54
5.5 Handlungsempfehlung	64
6 Fazit	71
6.1 Zielerreichung	71
6.2 Methodenreflexion	72
Literaturverzeichnis	74
Anhang: REFA-Messung der Vorgabezeit für IB 4	93
Anhang: Definition der Baugruppen für IB 4.....	95
Anhang: Datentabelle der Fertigungslinie C03.....	97

Abkürzungsverzeichnis

BU	Business Unit Analytical
CIM	Computer-integrated Manufacturing
CPS	Cyber-physische Systeme
DEA	Data Envelopment Analysis
DMU	Decision Making Unit
ERP	Enterprise Resource Planning
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
PLS	Product Line Simplification
SFA	Stochastic Frontier Analysis
TPS	Toyota-Produktionssystem

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Transformationsprozess in der industriellen Produktion	7
Abbildung 2: Die vier Stufen der industriellen Revolution	11
Abbildung 3: Fertigung von Halbfabrikaten durch Push-Forward Prozess	23
Abbildung 4: Beseitigung von Halbfabrikaten durch Pull-Out Prozess	24
Abbildung 5: Batchfertigung der Cornelius Deutschland GmbH	28
Abbildung 6: In-Line Fertigung der Cornelius Deutschland GmbH	30
Abbildung 7: Methoden der Effizienzmessung	34
Abbildung 8: Vorgehensweise der DEA mit einer Randproduktionsfunktion	37
Abbildung 9: Überblick über Methodenverfahren zwischen DEA und SFA	40
Abbildung 10: Fertigungsprozess mit aktuellem Fertigungslayout.....	44
Abbildung 11: Fertigungsprozess mit zukünftigem Fertigungslayout.....	46
Abbildung 12: Zukünftige In-Line Fertigungslinie	47
Abbildung 13: Prozessdarstellung der DEA-Effizienzmessung.....	50
Abbildung 14: Zusammenführung der Datentabellen zur Datenbasis	55
Abbildung 15: Effizienzbetrachtung der C03 von Januar 2010 bis Mai 2017 ...	58
Abbildung 16: Fertigungsprozess zur Messung der Durchlaufzeit.....	60
Abbildung 17: Ursprüngliche Austaktung IB 4.....	65
Abbildung 18: Aufteilung der Fertigungslinie für einen optimalen Fertigungsfluss	66
Abbildung 19: Neue Austaktung der Durchlaufzeit für 5 Mitarbeiter	67
Abbildung 20: Neue Austaktung der Durchlaufzeit für 3 Mitarbeiter	69

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Potentiale von Industrie 4.0	16
Tabelle 2: Herausforderungen von Industrie 4.0	17
Tabelle 3: Literaturübersicht zum Thema In-Line	22
Tabelle 4: Vorteile des In-Lines für Unternehmen, Kunden und Arbeitnehmer	27
Tabelle 5: Gesamtproduktion Vor- und Endgeräte 2016	49
Tabelle 6: Vor- und Nachteile von Primär- und Sekundärquellen	52
Tabelle 7: Bewertungskriterien für die Datenqualität	53
Tabelle 8: Auswertung der Effizienzmessung der C03	58
Tabelle 9: Zeitmessung und Leistungsgrad für den ersten Arbeitsplatz	61
Tabelle 10: Zusammenfassung REFA-Messung für IB 4	63
Tabelle 11: Durchlaufzeit IB 4 für 5 Mitarbeiter	67
Tabelle 12: Durchlaufzeit IB 4 für 3 Mitarbeiter	68

1 Einleitung

Die Einleitung führt mit der Beschreibung der Ausgangslage und der Problemstellung in die Forschungsarbeit ein. Die abgeleitete (Leit-)Frage hilft dabei, die Zielsetzung in Form einer These zu formulieren und daraus eine Schlussfolgerung zu ziehen. Abschließend bietet die Darstellung der Vorgehensweise neben einer Gliederung, in der die Argumentation und der Aufbau deutlich wird, auch eine Begründung des methodischen Vorgehens mit der eine Effizienzanalyse am Beispiel der Cornelius Deutschland GmbH durchgeführt wird.

1.1 Ausgangslage und Problemstellung

Die Anpassung der Produktion an neue Gegebenheiten wie veränderte Marktanforderungen, insbesondere der Wandel vom Verkäufer- zum Käufermarkt, der Wechsel auf neue, flexible Maschinenkonzepte, eine veränderte Informationsbasis (CIM) und die Integration ökologischer Anforderungen, entscheiden über das Bestehen von Unternehmen auf den Märkten. Aktuelle Beispiele aus den USA zeigen, dass es sich um ein aktuelles und zunehmend bedeutendes Thema handelt, da durch die Forderung Trumps, in den USA zu produzieren, da sonst hohe Einfuhrsteuern fällig werden, komplette Kostenstrukturen verändert werden.¹ Neben der Erfüllung der Kundenorientierung und -zufriedenheit und dem Erhalt der Flexibilität ist es vor allem die Umgestaltung teils kompletter Unternehmensabläufe und ein Umdenken der Organisationsprinzipien innerhalb der Logistik und der Produktion, die das gesamtheitliche Ziel der Kosteneinsparungen und Effizienzsteigerungen durch eine prozessorientierte Ausrichtung unterstützen.² Es ist weiterhin wichtig, die komplexen Hintergründe zu verstehen, um die Planung und Steuerung eines Produktionsumbaus erfolgreich beeinflussen zu können.

Die klassischen strategischen Erfolgsfaktoren Kosten, Zeit und Qualität werden durch weitere Faktoren wie Service, Erzeugnisvielfalt und Flexibilität ergänzt.³ Während in den siebziger Jahren der Kostenaspekt den Schwerpunkt und somit

¹ Vgl. Handelsblatt, Produktionsverlagerung, 2017, o. S.; RP Online, Produktion USA, 2017, o. S.

² Vgl. Adam, D., Produktion, 1997, S. 92; Gottmann, J., Produktionscontrolling, 2016, S. V; Thiel, K., MES, 2011, S. 5.

³ Vgl. Kaluza, B., Blecker, T., Erfolgsfaktoren, 2005, S. 5.

den dominierenden strategischen Erfolgsfaktor ausmachte, hat sich der Schwerpunkt im Laufe der Jahre auch auf die anderen strategischen Erfolgsfaktoren ausgeweitet. In der heutigen Zeit dürfen Flexibilitätssteigerungen nicht mit Verschlechterung anderer Erfolgsfaktoren einhergehen.⁴ In der Praxis bilden Kosten-, Zeit- und Qualitätsfaktoren das magische Dreieck. Diese Faktoren stehen in einem Konkurrenzverhältnis zueinander, eine Veränderung eines Faktors wirkt sich immer auf die anderen Faktoren aus.⁵

Trends wie Industrie 4.0 oder Lean Management rücken verstärkt in den Vordergrund und sollen dabei helfen, die negativen Auswirkungen zu minimieren.⁶ Es ist abzusehen, dass sich diese Entwicklung in Zukunft fortsetzen wird und in Kombination mit CPS, der Digitalisierung oder dem Internet der Dinge folgende Potentiale hervorbringt:⁷

- Individualisierung der Kundenwünsche
- Flexibilisierung
- Optimierte Entscheidungsfindung
- Ressourcenproduktivität und -effizienz
- Wertschöpfungspotentiale durch neue Dienstleistungen
- Demografie-sensible Arbeitsgestaltung
- Work-Life-Balance
- Wettbewerbsfähigkeit als Hochlohnstandort

Viele KMU besitzen nicht die Struktur, um den durch Industrie 4.0 herbeigeführten Wandel durchzuführen. Um den Anforderungen auch zukünftig gerecht zu werden und eine Strukturgrundlage zu schaffen, hat die Geschäftsführung der Cornelius Deutschland GmbH im September 2016 beschlossen, unter der Produktionsstrategie der Effizienzsteigerung und der Kosteneinsparung, die Produktion in der BU Soft auf das Produktionskonzept des In-Lines umzustellen. In-Line stellt dabei ein einfaches Verfahren in der Fertigung dar, in dem Produktionsmittel so angeordnet werden, dass der Produktionsablauf verbessert und die Zeit des Fertigungsprozesses – vom Rohmaterial bis zum Endprodukt – minimiert wird.

⁴ Vgl. Kaluza, B., Blecker, T., Erfolgsfaktoren, 2005, S. 5.

⁵ Vgl. Seidel, M., Magisches Dreieck, 2016, S. 22.

⁶ Vgl. Spath, D. et al., Industrie 4.0, 2013; Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J., Zukunftsprojekt Industrie 4.0.

⁷ Vgl. Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J., Zukunftsprojekt Industrie 4.0, 2013, S. 20.

Die Ziele des In-Lines umfassen neben der Orientierung von Produktion und Versand an die Nachfrage des Marktes auch die Befriedigung der Kundenwünsche bei gleichzeitiger Senkung des Lagerbestandes, die Senkung der Herstellkosten und einem termingerechten Versand.⁸

1.2 Zielsetzung

Im Vordergrund dieser Arbeit stehen dabei die Umsetzung des In-Lines und die Effizienzmessung der neugestalteten Produktionslinien. Die Fertigungslinien erbringen mit vorhandenen Anlagen, Materialien, Ausrüstungen und Personal einen Transformationsprozess. Das entstehende Produkt ist ein fertiges Gerät. Das Effizienzkriterium stellt die Produktivität als Quotienten aus Output und Input dar und entscheidet über die Auswahl geeigneter Instrumente zur Erfassung der Produktivität. Um die verschiedenen Inputgrößen, die in unterschiedlichen Einheiten vorliegen, in einer Effizienzmessung zu berücksichtigen, bietet sich die Anwendung der Data Envelopment Analysis (DEA) an. Neben der Betrachtung von Inputgrößen in unterschiedlichen Einheiten bietet die DEA die Möglichkeit einer gezielten Suche nach Ursachen und Wirkzusammenhängen. Darauf basierend lässt sich folgende Frage beantworten: Welche Auswirkungen haben die Produktionskonzepte und ihre Instrumente auf die Effizienz?

Durch die Einführung und Umsetzung des In-Lines hat auch die Cornelius Deutschland GmbH innerhalb der Produktion versucht, die Effizienz zu steigern, Kosten zu senken und die individuelle Kundenzufriedenheit zu erfüllen. Die Forschungsfrage ist: Wie hat sich das Produktionskonzept auf die einzelnen Produktionslinien entwickelt?

Anhand des Themenbereiches und der Problemstellung bietet sich die Anwendung der Data Envelopment Analysis an. DEA ist eine deterministische nicht-parametrische Methode der Effizienzmessung vergleichbarer DMUs (Decision Making Units). Dabei wird mit Hilfe von Input- und Outputfaktoren „die Produktionsfunktion approximativ bestimmt und auf ihr liegende DMUs als effizient definiert.“⁹ Somit lassen sich einzelne Fertigungslinien der Cornelius Deutschland GmbH auf ihre Effizienz miteinander vergleichen. Das Ziel ist es, die Effizienz vor

⁸ Vgl. Cornelius Deutschland GmbH, In-Line, 2016, S. 2.

⁹ Kerpen, P., Praxisorientierte Data Envelopment Analysis, 2016, S. 45.

dem Umbau mit der Effizienz nach dem Umbau zu vergleichen. In einer Vorüberlegung könnte die geringe Anzahl an Fertigungslinien, die gleichzeitig die DMUs darstellen, problematisch werden ($DMUs < 10$), da so das Effizienzmaß keine brauchbaren Ergebnisse liefert. Ein Ergebnis könnte sein, dass alle Fertigungslinien effizient sind und durch die gleiche Kennzahl charakterisiert werden. Um diese Problematik zu umgehen und den Fokus der Arbeit weiter auf die Effizienzmessung zu legen, wird die DEA in ihrer Form leicht abgeändert, so dass die Entwicklung der Effizienz einer Fertigungslinie über einen Zeitraum verglichen wird. Dies lässt Rückschlüsse auf Auswirkungen des In-Lines und einer kritischen Betrachtung zu. Durch den Aufbau weiterer Fertigungslinien in den nächsten Wochen und Monaten lassen sich bzgl. der Prozessimplementierung mögliche Verbesserungsvorschläge und Lerneffekte ableiten, die für die Zukunft berücksichtigt und umgesetzt werden können.

1.3 Vorgehensweise

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in einen theoretischen und einen empirischen Teil. Nach einer Einleitung und Formulierung der Zielsetzung im ersten und zweiten Abschnitt des ersten Kapitels, umfassen Kapitel zwei bis vier die theoretische Basis.

Zur besseren Heranführung an das Thema werden im zweiten Kapitel konzeptionelle Grundlagen erläutert. Zunächst werden die klassischen und die ganzheitlichen Produktionssysteme beschrieben und die Begriffe Produktionssystem und Transformationsprozess erklärt. Der Wandel der Produktionssysteme führt im Zeitverlauf zu der heute bekannten Industrie 4.0. In einem Unterkapitel werden neben einer Definition und einigen Grundlagen auch Potenziale und Herausforderungen gegenübergestellt.

Produktionsverfahren wie Lean Production und In-Line bilden einen Zwischenschritt zur Industrie 4.0 und haben das Ziel, durch eine Umgestaltung der Produktion die Effizienz zu steigern. Im dritten Kapitel wird das In-Line Verfahren vorgestellt. Da in der Literatur unterschiedliche Definitionen und Vorstellungen vorhanden sind, wird das Verfahren am Ende des Kapitels kritisch betrachtet.

Den Abschluss des Theorieabschnitts stellt Kapitel vier dar, in dem neben der Einführung des Effizienzbegriffs die bereits erwähnte Effizienzsteigerung und die dafür vorhandenen Methoden zur Messung aufgelistet werden. Dabei liegt der

Fokus vor allem auf der Anwendung der DEA. Neben der Beschreibung der Grundlagen und den Voraussetzungen untersucht eine kritische Betrachtung die Auswahl der Methodenauswahl (DEA) für den empirischen Teil.

Im zweiten und empirischen Teil erfolgt die praktische Anwendung der DEA. Das Kapitel beginnt mit einer Vorstellung des Unternehmens und des Anwendungsfalls. Es folgt eine Beschreibung der Anpassung der DEA sowie der Datenherkunft und der Datenqualität. Die Durchführung der DEA und die Durchführung der REFA-Zeitstudie ermöglichen eine Darstellung und Diskussion der Ergebnisse. Die Untersuchung prüft, inwieweit das Produktionskonzept In-Line die Effizienz der Produktion steigern konnte. Um die Vergleichbarkeit zu ermöglichen, werden die ermittelten Werte über einen Zeitraum abgebildet, um so eine Vergleichsmöglichkeit zur Überprüfung der Effizienzsteigerung und der Reduzierung der Durchlaufzeit zwischen dem alten Produktionskonzept und In-Line zu erhalten. Basierend auf den Ergebnissen lassen sich Handlungsempfehlungen ableiten.

Das letzte Kapitel umfasst die Beschreibung der Zielerreichung und eine kritische Methodenreflexion, in der das eigene Vorgehen hinterfragt wird. Neben möglichen Einschränkungen der Anwendbarkeit des Modells werden auch Anregungen zur Verbesserung genannt.

Die Konzeption der Arbeit folgt dabei der deduktiven Methode. Im ersten Schritt wird mit Hilfe vorhandener Literatur der theoretische Rahmen aufgebaut. Es werden sowohl die Produktionssysteme als auch der Entwicklungstrend Industrie 4.0 vorgestellt. Die gewonnenen Erkenntnisse werden im Praxisbeispiel der Cornelius Deutschland GmbH angewendet. Neben den theoretischen Erkenntnissen aus der Literatur werden im Praxisbeispiel durch die Umsetzung und einem Vorher/Nachher-Vergleich neue Primärdaten gewonnen, die eine kritische Beurteilung der Umsetzung ermöglichen.

2 Konzeptionelle Grundlagen

In der verarbeitenden Industrie werden Güter und Waren in Fabriken und Hallen produziert und verarbeitet. Produktionssysteme stellen dabei die Voraussetzung für eine Fertigung dar. Der Wandel vom Handwerk hin zu ganzheitlichen Produktionssystemen mit einem hohen Grad an Mechanisierung und Automatisierung führt zu der heute bekannten Industrie 4.0.¹⁰

2.1 Produktionssysteme im Wandel

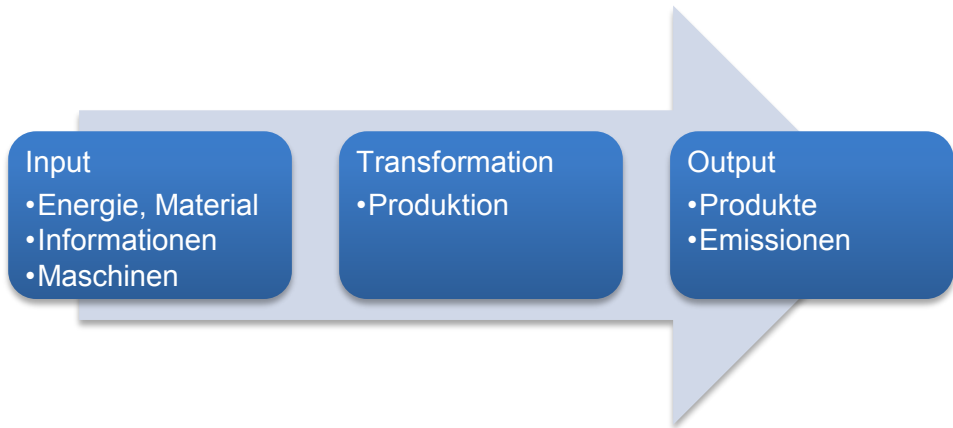
Der Begriff des Produktionssystems hat seinen Ursprung in der Produktionswirtschaft und stellt ein System dar, in dem bestimmte Produktionsprozesse, z.B. der Transformationsprozess oder die Vermarktung, durchgeführt werden. Dabei kann es sich um eine Fabrik, eine Werkstatt, ein einzelnes Fertigungssegment oder eine Fertigungslinie handeln. Zur Durchführung der Prozesse werden neben Maschinen, Betriebsmitteln und Produktionsstätten auch Regelwerke und Methoden bereitgestellt bzw. abgebildet. Es wird deutlich, dass Produktionssysteme einen ganzheitlichen Ansatz implizieren, welcher sowohl technologische als auch menschliche und organisatorische Aspekte beinhaltet.¹¹ Alle klassischen und ganzheitlichen Produktionssysteme haben eine Gemeinsamkeit: den Transformationsprozess. Bei dem Transformationsprozess (Abbildung 1) handelt es sich um einen Prozess der Wertschöpfung, bei dem Inputs (Vorleistungen, Vorprodukten, Rohstoffen, Maschinen) in Wirtschaftseinheiten, auch DMUs genannt, veredelt werden.¹² Konkret bedeutet dies, dass aus Ressourcen „unter Verwendung von Wissen in Fabriken höherwertige Produkte erzeugt werden, für die es eine Nachfrage in Haushalten und in Industriebetrieben gibt.“¹³

¹⁰ Vgl. Verband der Chemischen Industrie e. V. (VCI), Industrie als Basis, 2016, S. 6.

¹¹ Vgl. Bauer, S., Produktionssysteme, 2016, S. 1; Kirsch, J., Industrielle Produktionssysteme, 2009, S. 14.

¹² Vgl. Dyckhoff, H., Spengler, T., Produktionswirtschaft, 2010, S. 3; Gottmann, J., Produktionscontrolling, 2016, S. 29.

¹³ Westkämper, E., Löffler, C., Produktionsstrategien, 2016, S. 2.

Abbildung 1: Transformationsprozess in der industriellen Produktion

Quelle: In Anlehnung an Westkämper, E., Löffler, C., *Produktionsstrategien*, 2016, S. 2.

2.1.1 Klassische Produktionssysteme

Der historische Ursprung klassischer Produktionssysteme findet sich im Handwerk wieder, einem Vorläufer der industriellen Produktion. Spezielle Ausprägungen wie Einzelfertigung und qualifizierte Handwerker, die manuelle Arbeit mit Hilfe von Werkzeugen ausgeübt haben, waren kennzeichnend für dieses Produktionssystem.¹⁴ Zu Beginn des 20. Jahrhunderts ist eine neue Methode der Arbeitsorganisation von klassischen Produktionssystemen eingeführt worden: Taylorismus und Fordismus. Charakteristisch für den durch Frederick W. Taylor begründeten Taylorismus, oder auch Scientific Management, ist die Rationalisierung der Produktionsorganisation. Die Gewinninteressen der (privaten) Unternehmen werden durch technisches Rationalisierungsinteresse in Form von effizienterer Arbeitsteilung und -durchführung ergänzt.¹⁵ Für die Arbeitsteilung und -durchführung ist ein vereinheitlichter Produktionsprozess vorgesehen, der klare Regeln und Vorgehensweisen definiert, so dass es nur einen Produktionsweg

¹⁴ Vgl. Bleher, N., *Produktionssysteme*, 2014, S. 13; Romero, D. et al., *Operator 4.0*, 2016, S. 677 f.

¹⁵ Vgl. Matys, T., *Taylorismus*, 2014, S. 25.

gibt. Folgende vier Grundsätze bilden die Basis und die Grundlage für eine systematische Optimierung der Produktion:¹⁶

- Trennung von Kopf- und Handarbeit
- Präzise Beschreibung und Definition von Arbeitsschritten
- Unterteilung der Arbeit in deren kleinste Teilvorgänge
- Abhängigkeit von Entlohnung und Produktivität

Durch die ergänzenden Ansätze des Fordismus ist eine Produktionsorganisation entstanden, die neben der horizontalen und vertikalen Arbeitsteilung auch die Erfindung des Fließbandes und somit die Möglichkeit der Massenfertigung hervorgebracht hat.¹⁷ Das eingesetzte Ford-Produktionssystem und die damit zusammenhängende Einführung der Automatisierung führten sowohl zu einem Wandel in den Produktionsprozessen als auch zu einer Veränderung der Rolle des Menschen in der Produktion. Die handwerkliche Produktion wurde durch die industrielle Produktion abgelöst.¹⁸

Klassische Produktionssysteme beinhalten eine selektive Wahrnehmung der einzelnen Prozesse und Abläufe in der Produktion. Es ergeben sich einige Schwachstellen wie mangelnde Transparenz und Qualität, überhöhte Bestände und lange Durchlaufzeiten. Für eine Umsetzung in anderen Unternehmen und Industriezweigen sowie der Beseitigung der genannten Schwachstellen mussten die klassischen Produktionssysteme weiterentwickelt und verbessert werden.¹⁹

2.1.2 Ganzheitliche Produktionssysteme

In der Nachkriegszeit zeigte sich, dass die Massenfertigung in den USA und Europa große Erfolge feierte. In diesen Ländern stellten die großen Märkte und die entsprechend großen Stückzahlen die Basis für ein funktionierendes klassisches Produktionssystem dar. In Japan waren die Ansätze von Ford und Taylor aufgrund erschwerter wirtschaftlicher Bedingungen wie geringen Beständen, kleinen Losgrößen und einer schwachen Auftragslage nicht umsetzbar, so dass diese

¹⁶ Vgl. Bleher, N., Produktionssysteme erfolgreich einführen, 2014, S. 13 f.; Westkämper, E., Löffler, C., Strategien der Produktion, 2016, S. 46.

¹⁷ Vgl. Krüger, H., Kühnel, M., Thomas, S., Taylorismus, 1995, S. 180.

¹⁸ Vgl. Bleher, N., Produktionssysteme erfolgreich einführen, 2014, S. 15.

¹⁹ Vgl. Kletti, J., Schumacher, J., Die perfekte Produktion, 2014, S. 35.

weiterentwickelt und verbessert werden mussten. Infolgedessen wurde das Toyota-Produktionssystem (TPS) entwickelt, ein ursprünglich auf konventionellen Organisationsmethoden basiertes System, dass die Basis für die heutige Lean Production (schlanke Produktion) bildet.²⁰ Erste Veröffentlichungen zu diesem Thema gehen auf Sugimori et al.²¹ und Ohno²² zurück. Ziel des TPS ist es durch einen ganzheitlichen Ansatz Verschwendungen zu vermeiden, sämtliche Tätigkeiten auf die direkte Wertschöpfung der Produkte auszurichten und nicht wertschöpfende Arbeiten zu minimieren. Dabei gibt es sieben Arten der Verschwendung, die vermieden werden müssen: Überproduktion, Wartezeit, Transport, ineffiziente Bearbeitung, Lager, überflüssige Bewegung und defekte Produkte. Zur Vermeidung von Verschwendung umfasst das TPS zwei Säulen: Just in Time (JIT) und autonome Automation. Beide Säulen beinhalten diverse Konzepte wie z.B. Kanban, Poka-Yoke oder Kaizen zur Produkt- und Prozessverbesserung.²³

Wie bereits erwähnt, sind die Ansätze des TPS in der heutigen Lean Production wiederzufinden und durch weitere Komponenten ergänzt worden. Ziel ist es, „die Auftragsabwicklungsprozesse zu verbessern und zu beschleunigen.“²⁴ Im Gegensatz zum TPS umfasst Lean Production sowohl den direkten als auch den indirekten Wertschöpfungsbereich. Insbesondere die Untersuchungen von Shah und Ward definieren Supplier feedback, Just-In-Time (JIT) delivery by suppliers, Supplier development, Customer involvement, Pull production, Continuous flow, Setup time reduction, Total productive/preventive maintenance, Statistical process control und Employee involvement als Dimensionen der Lean Production.²⁵ Herausforderungen bei der Implementierung dieser Dimensionen werden durch Industrie 4.0 aufgegriffen und gelöst.²⁶

²⁰ Vgl. Dombrowski, U., Mielke, T., Ganzheitliche Produktionssysteme, 2015, S. 16 f.; Kletti, J., Schumacher, J., Die perfekte Produktion, 2014, S. 76; Thiel, K., MES, 2011, S. 319.

²¹ Vgl. Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F. & Uchikawa, S., Toyota Production System, 1977, S. 553-564.

²² Vgl. Ohno, T., Toyota Production System, 1978 (japanische Originalausgabe).

²³ Vgl. Ohno, T., Das Toyota-Produktions-System, 2013, S. 54; Thun, J., Drüke, M., Grübner, A., TPS Prinzipien, 2010, S. 7089 f.

²⁴ Thiel, K., MES, 2011, S. 319.

²⁵ Vgl. Shah, R., Ward, P., Measures of Lean Production, 2007, S. 799 f.

²⁶ Vgl. Sanders, A., Elangeswaran, C., Wulfsberg, J., Wandel Lean zu Industrie 4.0, 2016, S. 827 f.

Der Wandel von klassischen Produktionssystemen zu ganzheitlichen Produktionssystemen zeigt einzelne Produktionskonzepte, die im Laufe der Jahre immer wieder aufgegriffen und zu neuen Konzepten ergänzt wurden. Während in den klassischen Produktionssystemen einzelne Konzepte angewendet werden, ist für ganzheitliche Produktionssysteme eine systematische Einführung mehrerer ausgewählter und aufeinander abgestimmter Konzepte kennzeichnend. Die Zusammenführung verschiedener Einzelkonzepte und der strategische und kombinierte Einsatz dieser Konzepte führen zu einer ganzheitlichen Gestaltung moderner Produktionssysteme und konzentriert sich nicht nur auf einzelne Prozesse oder Methoden. Es rückt ganzheitlich die Abstimmung über das gesamte System und eine durchgängige Gestaltung der Unternehmensprozesse in den Vordergrund.²⁷

2.2 Industrie 4.0

Der Wandel von klassischen Produktionssystemen hin zu ganzheitlichen Produktionssystemen spiegelt die Entwicklung der industriellen Revolution wider. Die heute bekannte vierte industrielle Revolution, kurz Industrie 4.0, ist eine technologische Evolutionsstufe, die mit der ersten industriellen Revolution Mitte/Ende des 18. Jahrhunderts begann. Die Entwicklung von Arbeits- und Kraftmaschinen, z.B. der Dampfmaschine, ermöglichten die erste Industrialisierung in der Textil-, Eisen- und Stahlindustrie. Kennzeichnend für die zweite industrielle Revolution ab dem Jahre 1870 war die industrielle, arbeitsteilige Massenproduktion durch den Einsatz elektrischer Energie. Anfang der sechziger Jahre des 20. Jahrhunderts entstand die noch heute vorherrschende dritte industrielle Revolution, eine Automatisierung der Produktion durch den Einsatz von Elektronik und der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) (siehe Abbildung 2).²⁸

Der Einsatz von Elektronik und IT beschränkt sich nicht nur auf die Ausführung und Steuerung eines Gerätes. Mit Hilfe der Digitalisierung, Big Data und dem Internet der Dinge werden Produkte und Dienstleistungen über Software und Elektronik in Form von Sensorik und Aktorik miteinander verknüpft. Dies ermög-

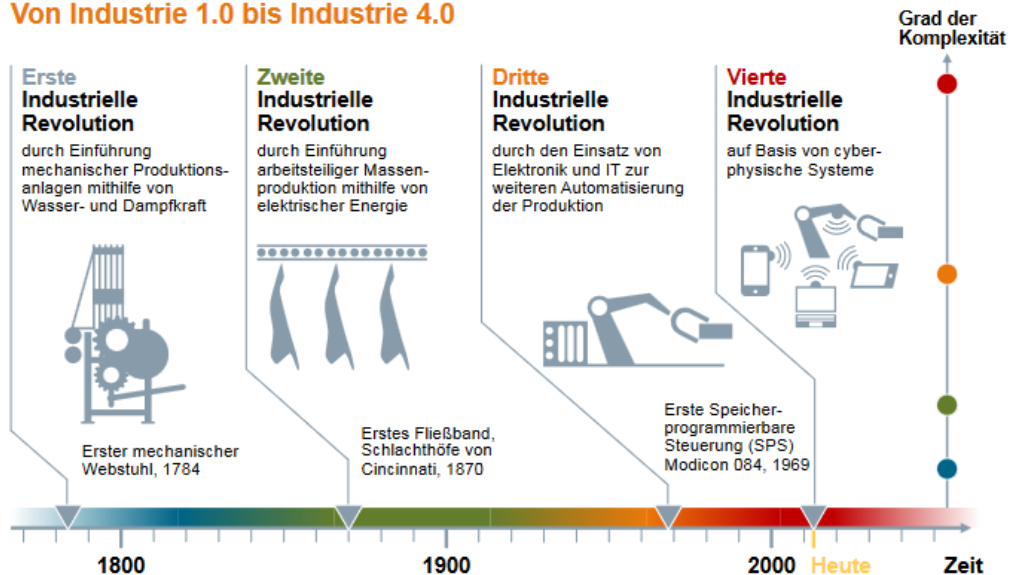
²⁷ Vgl. Bergmann, L., Ganzheitliches Produktionssystem, 2009, S. 43 f.; Luther, F., Produktionsintegrierte Instandhaltung, 2009, S. 29 f.

²⁸ Vgl. Bauernhansl, T., Industrielle Revolution, 2014, S. 5-7; Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J., Zukunftsprojekt Industrie 4.0, 2013, S. 17-18.

licht eine Kommunikation und Interaktion mit der Umwelt, so dass cyber-physische Systeme entstehen.²⁹ Ziel ist es, mit Industrie 4.0 und der von der Bundesregierung entwickelten Hightech-Strategie Deutschlands Zukunft zum weltweiten Innovationsführer voranzubringen und die Wettbewerbsfähigkeit zu stärken.³⁰

Abbildung 2: Die vier Stufen der industriellen Revolution

Von Industrie 1.0 bis Industrie 4.0



Quelle: Neuhauser, R., Industrielle Revolution, 2013, S. 3.³¹

Die Aktualität des Themenkomplexes zeigt sich in aktuellen Studien der Bitkom Research GmbH. Den Umfragen nach nutzen oder planen insgesamt 65% der befragten Unternehmen spezielle Anwendungen für Industrie 4.0 und 69% der

²⁹ Vgl. Sendler, U. et al., Industrie 4.0, 2013, S. 6 f.

³⁰ Vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Hightech-Strategie, 2014, S. 3.

³¹ Originalquelle: Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) (Industrielle Revolution, 2012): Im Fokus: Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0; Handlungsempfehlungen Zur Umsetzung, Bericht Der Promotorengruppe Kommunikation, Berlin: Forschungsunion, 2012.

befragten Unternehmen sagen, dass Industrie 4.0 bereits ein wichtiges Geschäftsfeld der IKT-Branche sei bzw. in 1-2 Jahren sein wird. Wie eine aktuelle Studie im Auftrag der Beratungsgesellschaft KPMG AG, Berlin positiv zeigt, spielen auch die technischen Komponenten von Industrie 4.0 eine wichtige Rolle. Im gehobenen Mittelstand planen oder setzen 62% aller befragten Unternehmen Big Data Lösungen bereits ein.³²

2.2.1 Definition und Grundlagen

Auch wenn Industrie 4.0 eine wichtige Rolle einnimmt, herrschen in der Literatur bei der Definition und den Grundlagen keine einheitlichen Standards. Aufgrund des jungen und neuen Forschungsprojektes liegen unterschiedliche Konzepte zur Umsetzung und Einführung von Industrie 4.0 vor.³³ Als Grundlage für die Arbeit wird Industrie 4.0 definiert als ein Produktions- und Wertschöpfungssystem, dass durch cyber-physische Systeme (CPS) auf Basis von eingebetteten Systemen (embedded systems) in einer Kommunikationsstruktur des Internets der Dinge entsteht. Durch die Ausstattung mit Sensoren und Aktoren werden cyber-physische Systeme mit einer Intelligenz ausgestattet, die ihnen die Fähigkeit erlaubt, sich selbst zu steuern, sich mit anderen cyber-physischen Systemen zu vernetzen und mit ihrer Umgebung zu interagieren. Durch diese Kommunikations- und Entscheidungsprozesse der Produktionssysteme werden neue Optimierungsansätze geschaffen, um eine Veränderung von starren Produktionsstrukturen in aktive, autonome wie auch sich selbstorganisierenden Produktionseinheiten zu erreichen. Es gilt, die „immer weiter ansteigende Komplexität, welche unweigerlich durch den Einsatz neuester IKT in der Produktion entsteht, für ein Unternehmen beherrschbar zu machen.“³⁴ Der Einfluss wandlungsfähiger Produktionsstrukturen wirkt sich innerhalb und außerhalb des Unternehmens aus – betroffen sind neben Abteilungen wie Entwicklung, Logistik, Produktion und Service auch Handlungsfelder, die einen Einfluss auf die Umsetzung von Industrie 4.0 haben. Zu diesen Handlungsfeldern zählen Arbeitsorganisation und -gestaltung,

³² Vgl. Erwin, T., Heidkamp, P., Pols, A., Big Data, 2017, S. 9; Kleinemeier, M., Chancen und Perspektiven, 2017, S. 3; Riemensperger, F., Sensoren, Big Data und 3D-Druck, 2016, S. 2.

³³ Vgl. Siepmann, D., Struktur und Historie, 2016, S. 19+22.

³⁴ Siepmann, D., Struktur und Historie, 2016, S. 20.

Standardisierung und Referenzarchitektur, Aus- und Weiterbildung, Ressourceneffizienz, Sicherheit, flächendeckende Breitbandinfrastruktur, Beherrschung komplexer Systeme und rechtliche Rahmenbedingungen.³⁵

In der Praxis werden Transportwege verkürzt, indem Werkstücke selbständig den kürzesten Weg zum Arbeitsplatz oder zur Maschine finden und Rüstzeiten optimiert, da Werkstücke durch einen Informationsaustausch mit der Maschine den optimalen Zeitpunkt wählen und Ersatzteile rechtzeitig bestellen. Bei Störungen im Produktionsablauf nehmen Maschinen eine Umplanung vor, um Stillstände zu reduzieren oder zu vermeiden. Um die Veränderung zu wandlungsfähigen Produktionsstrukturen zu unterstützen, sind folgende technische Komponenten nötig:³⁶

- Intelligente Maschinen/Geräte/Werkstücke
- Machine-to-Machine Kommunikation (M2M)
- Internet der Dinge
- Big Data
- Selbstlernende Systeme
- Augmented Reality

Intelligente Maschinen, Geräte und Werkstücke umfassen die bereits beschriebene Intelligenz cyber-physischer Systeme. Machine-to-Machine Kommunikation stellt die Datenübertragung und den Datenaustausch zwischen Maschinen her. Neben der Interaktion zwischen Maschinen kann diese auch zwischen Maschine und IT-System hergestellt werden. Das Internet der Dinge umfasst nicht nur den Austausch zwischen zwei Maschinen, sondern erweitert die intelligente Verknüpfung von Maschinen, Geräten und Werkstücken, die über das Internet angeschlossen sind, zu einer vernetzten Welt. Neben der Kommunikation, Überwachung und Steuerung eröffnet das Internet der Dinge neue Nutzungsmöglichkeiten.³⁷ Durch die Ausstattung mit Sensoren und die intelligente Vernetzung mit dem Internet entstehen große Datenmengen. Um die Datenmengen und -vielfalt mit Hilfe von Algorithmen schnell und in Echtzeit verarbeiten zu können, ist die

³⁵ Vgl. Agiplan, Fraunhofer IML, Zenit, Industrie 4.0, 2015, S. 8 f.; Mosler, A., Handlungsfelder Industrie 4.0, 2017, S. 495; Schenk, M., Schumann, M., Industrie 4.0, 2015, S. 14; Soder, J., Industrielle Revolution, 2014, S. 97.

³⁶ Vgl. Kaufmann, T., Geschäftsmodelle in Industrie 4.0, 2015, S. 4-7.

³⁷ Vgl. Huber, W., Industrie 4.0 Automobilindustrie, 2016, S. 11; Kaufmann, T., Geschäftsmodelle in Industrie 4.0, 2015, S. 6.

Komponente des Big Data eingeführt worden. Big Data bietet die Möglichkeit, Daten zu erfassen, zu speichern, zu aggregieren und zu analysieren. Daraus abgeleitet besteht die Möglichkeit, Daten in Erkenntnisse und Intelligenz zu verwandeln, wo und wann immer diese im Unternehmen gebraucht werden.³⁸ Selbstlernende Systeme nutzen die Intelligenz, um selbstständig Zusammenhänge zu erkennen und entsprechende Maßnahmen einzuleiten. Dies hilft dabei, Prozesse zu unterstützen.³⁹ Augmented Reality bietet effiziente Handlungsunterstützung bei Arbeits- und Produktionsprozessen und erweitert die Umgebung mit zusätzlichen Informationen durch spezielle Brillen oder Kameras. Es stellt eine Interaktion zwischen der Realität und einer der Situation entsprechenden (virtuellen) Animation her.⁴⁰

Die dargestellten Komponenten stellen abgegrenzt voneinander keine Neuerungen dar. Der technologische Fortschritt in der Fertigungsautomatisierung ist mit dem aus den siebziger Jahren bekannten computerintegrierten Ansatz (CIM) ein vorausgegangener Ansatz gewesen, der in der zweiten Entwicklungsstufe durch Lean Production weiterentwickelt wurde. Neben der Ergänzung und Erweiterung von Lean Production führt das Zusammenwirken der Komponenten und der steigende Grad des technologischen Fortschritts zur heute bekannten Industrie 4.0.⁴¹ Durch das Zusammenwirken verschiedener Komponenten müssen Anwendungen von Industrie 4.0 situationsspezifisch in Abhängigkeit des Unternehmens und der Prozesse individuell angepasst werden.⁴²

³⁸ Vgl. Chen, D., Preston, D., Swink, M., Big Data, 2015, S. 5; Sanders, N., Big Data, 2016, S. 26.

³⁹ Vgl. Niggemann, O., Jasperneite, J., Vodencarevic, A., Industrielle Revolution, 2014, S. 173 f.

⁴⁰ Vgl. Obermaier, R., Industrie 4.0 Gestaltungsaufgabe, 2016, S. 15; Peissner, M. et al., Mensch-Technik Interaktion, 2013, S. 37.

⁴¹ Vgl. Kaufmann, T., Geschäftsmodelle in Industrie 4.0, 2015, S. 7; Knüpfner, G., Übergang Lean zu Industrie 4.0, 2017, S. 2; Siepmann, D., Struktur und Historie, 2016, S. 20 f.; Staufe AG, Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) der Technischen Universität Darmstadt, Lean Management, 2016, S. 13.

⁴² Vgl. Jäger, J. et al., Komplexität Industrie 4.0, 2016, S. 116.

2.2.2 Potentiale und Herausforderungen

Neben dem bereits genannten Ziel mit Industrie 4.0 und der von der Bundesregierung entwickelten Hightech-Strategie Deutschlands Wettbewerbsfähigkeit zu stärken gilt es, die globalen Herausforderungen (Ressourcen- und Energieeffizienz) und die nationalen Herausforderungen (demografischer Wandel) zu bewältigen. Industrie 4.0 kann zur Bewältigung der Herausforderungen nicht nur einen Beitrag leisten, sondern unterstützt bei dem Wandel der industriellen Produktion hin zur Industrie 4.0. Möglich wird dies durch eine vertikale und horizontale Integration.⁴³ Bei der vertikalen Integration erfolgt eine Verknüpfung physischer, technischer Prozesse über die Kernprozesse verschiedener Unternehmensebenen hinweg. Zusätzlich werden Informations-, Kommunikations-, Steuerungs- und Managementsysteme miteinander verbunden. Bei der horizontalen Integration über Wertschöpfungsnetzwerke erfolgt eine Vernetzung von Prozessen und Ressourcen, die sich auf die inner- und überbetriebliche Wertschöpfungskette beziehen.

Dazu gehören neben Lieferanten, Herstellern, Händlern und Kunden auch neue Marktteilnehmer.⁴⁴

Eine verstärkte vertikale und horizontale Integration ermöglicht es Unternehmen neue Potentiale zu erschließen. Unternehmen sind ergänzend in der Lage, nicht nur interne Prozesse zu optimieren, sondern auch externen Einfluss auf Prozesse und Umwelt zu nehmen. Neben einer Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit einzelner Unternehmen werden mit diesem Ansatz auch globale und nationale Herausforderungen bewältigt. Folgende Potentiale lassen sich ableiten (Tabelle 1):⁴⁵

⁴³ Vgl. Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J., Zukunftsprojekt Industrie 4.0, 2013, S. 18.

⁴⁴ Vgl. Agiplan, Fraunhofer IML, Zenit, Industrie 4.0, 2015, S. 11; Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J., Zukunftsprojekt Industrie 4.0, 2013, S. 6; Kaufmann, T., Geschäftsmodelle in Industrie 4.0, 2015, S. 7.

⁴⁵ Vgl. Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J., Zukunftsprojekt Industrie 4.0, 2013, S. 19-20.

Tabelle 1: Potentiale von Industrie 4.0

Potential	Beschreibung
Individualisierung von Kundenwünschen	Berücksichtigung von individuellen kunden-spezifischen Kriterien über den Wertschöpfungsprozess.
Flexibilisierung	Cyber-physische Vernetzung erlaubt eine dynamische Gestaltung der Geschäftsprozesse.
Optimierte Entscheidungsfindung	Echtzeitüberwachung ermöglicht frühzeitigen und flexiblen Eingriff bei Störungen.
Ressourcenproduktivität und Effizienz	Produktionsprozesse können auslastungsbezogen optimiert werden.
Wertschöpfungspotenziale durch neue Dienstleistungen	Industrie 4.0 führt zu neuen Formen von Wertschöpfungsprozessen und Dienstleistungen (Big Data).
Demografie - sensible Arbeitsgestaltung	Durch flexible und vielfältige Laufbahnmodelle kann frühzeitig dem demografischen Wandel vorgebeugt werden.
Work-Life-Balance	CPS ermöglicht eine Kombination von Beruf und Privatleben, persönlicher Weiterentwicklung und beruflicher Weiterbildung.
Wettbewerbsfähigkeit als Hochlohnstandort	Neben der Wettbewerbsfähigkeit kann Deutschland zum Antreiber von Industrie 4.0-Lösungen werden.

Quelle: In Anlehnung an Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J., Zukunftsprojekt Industrie 4.0, 2013, S. 19-20.

Neben den Potenzialen birgt Industrie 4.0 auch einige Herausforderungen. Durch die Komplexität und Vielfalt der Veränderungen, die mit Industrie 4.0 einhergehen, entstehen nicht nur Herausforderungen im Umgang mit der Informations- und Kommunikationstechnologie. Es entstehen neue Herausforderungen in Bezug auf persönlicher und sozialer Ebene, z.B. der Umgang mit Mitarbeitern, die es zu lösen gilt. Die zahlreichen und komplexen Herausforderungen betreffen nicht nur das Unternehmen intern, zusätzlich müssen Industrieverbände, Ge-

werkschaften und Arbeitgeberverbände miteinbezogen werden. Folgende Aspekte müssen berücksichtigt werden:⁴⁶ Verarbeitung einer großen Anzahl an Daten und Informationen, Anwendung neuer Methoden und Technologien, Umgang mit neuen Organisationsstrukturen, Umgang mit der neuen Rolle der Mitarbeiter.

Grundsätzlich lassen sich die Herausforderungen in die vier Bereiche IT in der Produktion, personalisierte Produkte, Menschen in der Fertigung und Organisation und Kontrolle einteilen. Tabelle 2 listet zu jedem Bereich Rahmenbedingungen auf, um die Herausforderungen zu bewältigen.⁴⁷

Tabelle 2: Herausforderungen von Industrie 4.0

Bereich	Beschreibung
IT in der Produktion	Bezogen auf Machine-to-Machine Kommunikation muss eine flexible, sichere und geschützte Kommunikation gewährleistet werden.
Personalisierte Produkte	Risiko, dass durch neue und unreife Fertigungstechnologien personalisierte Produkte nicht wirtschaftlich hergestellt werden können.
Menschen in der Fertigung	Durch nicht frühzeitige und ausreichende Schulung und Weiterbildung werden Mitarbeiter nicht in der Lage sein, das Potenzial der neuen Technologie auszuschöpfen.
Organisation und Kontrolle	Neue Organisation und Kontrollen komplett digitalisierter Produktionssysteme mit Losgröße 1, um automatisch optimierte Fertigungsprozesse zu realisieren.

Quelle: In Anlehnung an Koch, V. et al., Chancen und Herausforderungen Industrie 4.0, 2014, S. 36 f.; Landherr, M., Schneider, U., Bauernhansl, T., Application Center Industrie 4.0, 2016, S. 27.

⁴⁶ Vgl. Prinz, C. et al., Learning factory modules, 2016, S. 114.

⁴⁷ Vgl. Koch, V. et al., Chancen und Herausforderungen Industrie 4.0, 2014, S. 38; Landherr, M., Schneider, U., Bauernhansl, T., Application Center Industrie 4.0, 2016, S. 27.

Trotz aller Potenziale und Herausforderungen bleibt die praktische Umsetzung von Industrie 4.0 ein mehrjähriger Wandlungsprozess. Der Umfang der erwarteten unternehmensweiten Veränderungen umfasst neben internen Veränderungen auch die Integration externer Einflüsse und führt insgesamt zu einer veränderten Wertschöpfung.⁴⁸

⁴⁸ Vgl. Koch, V. et al., Chancen und Herausforderungen Industrie 4.0, 2014, S. 41.

3 In-Line

Unter dem Aspekt der Industrie 4.0 ist das Verfahren des In-Lines als eine Vorstufe zu betrachten, mit der die Grundlage geschaffen wird. In-Line bietet die Möglichkeit, Unternehmensabläufe innerhalb der Logistik und der Produktion umzugestalten, um das gesamtheitliche Ziel der Kosteneinsparungen und Effizienzsteigerungen durch eine prozessorientierte Ausrichtung zu erreichen.

3.1 Grundlagen und Begriffe

In der Literatur finden sich wenige Ansätze und Erklärungen zum Thema In-Line. Da kein einheitlicher Standard herrscht, existieren neben unterschiedlichen Schreibweisen (In-Line, Inline), diversen Bezeichnungen wie In-Lining oder Line-back-Konzept auch teilweise gegensätzliche Definitionen.⁴⁹ Nachfolgend wird ein Überblick über einige Definition gegeben. Neben Gemeinsamkeiten werden auch Unterschiede dargestellt.

Eine erste Definition von Wijbenga (1989) beschreibt die In-Line Produktion als eine Flussproduktion, die sich für kurze Zykluszeiten eignet und der komplette Fertigungsprozess entsprechend in identische Zykluszeiten zerlegt ist. Das Verfahren ist einer Produktionsphilosophie untergeordnet, die darauf abzielt, neben einer Flexibilität und Qualität auch niedrige integrale Kosten zu erreichen.⁵⁰ Hughes (2002) ergänzt die Definition und ordnet die In-Line Produktion der Massenfertigung (Automobilindustrie, Waschmaschinen, Kühlschränken) zu, da Produkte entlang eines Produktionsbands gefertigt werden. Ein Vorteil ist die geringe Anlernzeit neuer Mitarbeiter, da der Produktionsprozess in einzelne Teilschritte zerlegt ist. Im Gegenzug ist die Produktion schwer zu planen und Ausfallzeiten sind entsprechend mit hohen Kosten verbunden. Kontrollen mit Hilfe von Computern ermöglichen neben der Qualitätsüberwachung auch eine Überwachung einzelner Fertigungslinien.⁵¹ ITW (2007) definiert In-Lining als einen einfachen

⁴⁹ Vgl. Pfeffer, M., In-Line-Konzept, 2009, S.115; Hughes, C., In-Line Production, 2002, S. 79; Konradin-Verlag Robert Kohlhammer GmbH, Line-back-Konzept, 2008, o. S.; ITW, In-Lining, 2007, S. 19-23; Wijbenga, J., In-Line-Produktion, 1989, S. 59 f.

⁵⁰ Vgl. Wijbenga, J., In-Line-Produktion, 1989, S. 59 f.

⁵¹ Vgl. Hughes, C., In-Line Production, 2002, S. 79.

Prozess in der Fertigung, bei dem Produktionsausrüstung oder Montagestationen zur Verbesserung des Flusses und zur Minimierung der Prozesszeit vom Rohmaterial bis zum Endprodukt angeordnet sind.

In-Lining ist neben anderen Werkzeugen wie PLS (Product Line Simplification) oder 80/20 ein Verfahren, um die Produktion und den Versand an die Kundennachfrage auszurichten.⁵² Eine ähnliche Definition wählt der Konradin-Verlag (2008). Nach dem Pull-Prinzip werden mit Hilfe von Rahmenbedingungen, z.B. konstanter Verbrauch, Linien- und Fließfertigung statt Werkstattfertigung, uneingeschränkte Unterstützung der Geschäftsführung und Aufgeschlossenheit der Mitarbeiter, Verschwendungen in Richtung Rohmaterial eliminiert. Ziel ist eine schlanke und bedienerfreundliche Fabrik.⁵³ Während bisher die Ausrichtung des Materialflusses an die Produktion im Vordergrund stand, um Zwischenpuffer und Halbfabrikate zu reduzieren, beschreibt Pfeffer (2009) das In-Line Konzept als eine kontinuierliche Produktion unter Verwendung von Puffern und Wendestationen.⁵⁴ Dieser Ansatz ist gegensätzlich zu den bisher bekannten Definitionen und an dieser Stelle kritisch zu bewerten. Es wird deutlich, dass In-Line durch die Anordnung der Produktionsmittel den Lagerbestand, Verschwendungen und mögliche Halbfabrikate reduziert oder abschafft.

Eine Gemeinsamkeit aller Definitionen stellt die Erhöhung der Effizienz dar, die durch die Herstellung möglichst großer Serien erreicht wird. Eine weitere Voraussetzung ist die Anordnung in eine Linien- bzw. Fließfertigung, um einen Produktionsfluss zu generieren. Zusätzlich rückt der Qualitätsaspekt in den Vordergrund, auch wenn dieser durch leicht unterschiedliche Herangehensweisen beschrieben wird. Während Wijbenga ein Umdenken der Mitarbeiter durch eine Null-Fehlerphilosophie anstrebt, übernimmt bei Hughes eine computerunterstützte Kontrolle die Überwachung der Fertigungslinien. Eine weitere Herangehensweise beschreibt die Steigerung des Qualitätsaspekts durch die Reduzierung von Fehlern und Ausschuss. Dieses Fertigungskonzept ermöglicht eine schnelle Anpassung an sich ändernde (Markt-)Bedürfnisse. Dies wird zum einen durch eine Mitarbeiterflexibilität erreicht, da durch die Aufteilung des gesamten

⁵² Vgl. ITW, In-Lining, 2007, S. 19-23.

⁵³ Vgl. Konradin-Verlag Robert Kohlhammer GmbH, Line-back-Konzept, 2008, o. S.

⁵⁴ Vgl. Pfeffer, M., In-Line-Konzept, 2009, S.115.

Produktionsprozesses in Teilprozesse geringe Anlernzeiten entstehen, zum anderen durch die Anpassung der Produktion an die Kundennachfrage durch das Pull-Prinzip. Tabelle 3 fasst die zentralen Punkte zusammen.⁵⁵

⁵⁵ Vgl. Pfeffer, M., In-Line-Konzept, 2009, S.115; Hughes, C., In-Line Production, 2002, S. 79; Konradin-Verlag Robert Kohlhammer GmbH, Line-back-Konzept, 2008, o. S.; ITW, In-Lining, 2007, S. 19-23; Wijbenga, J., In-Line-Produktion, 1989, S. 59 f. Die Tabelle stellt keinen Anspruch auf Vollständigkeit dar.

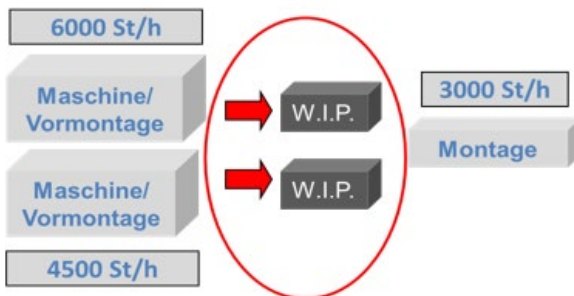
Tabelle 3: Literaturübersicht zum Thema In-Line

Bezeichnung	Wijbenga (1989)	Hughes (2002)	ITW (2007)	Konradin-Verlag (2008)	Pfeffer (2009)
Effizienz	In-Line Herstellung möglichst großer Serien	In-Line Herstellung möglichst großer Serien	In-Lining Herstellung möglichst großer Serien	Line-back-Konzept Herstellung möglichst großer Serien	In-Line Herstellung möglichst großer Serien
Qualität	Null-Fehlerphilosophie	Kontrolle durch Computer	Hervorragende Qualität	Reduzierung von Fehler und Ausschuss	Reduzierung von Fehler und Ausschuss
Flexibilität	Schnelle Anpassung an sich ändernde Bedürfnisse	Mitarbeiterflexibilität durch geringe Anlernzeiten	Anpassung der Produktion an Kundennachfrage	Pull-Prinzip	geringe Variantenvielfalt
Verfahren	Flußproduktion	Massenproduktion	Linien- bzw. Fließfertigung	Linien- bzw. Fließfertigung	Fertigungsline
Eigenschaften	Kurze Zykluszeiten, Fertigung muss in identische Zykluszeiten zerlegt werden	Implementierung teuer, zusätzlich müssen hohe Stückzahlen produziert und verkauft werden, Produktion ist oft schwer zu planen, Ausfallzeiten sind teuer	Orientierung von Produktion und Versand an Marktnachfrage, Befriedigung der Kundenwünsche bei Reduzierung der Herstellungskosten, 100% termingerechter Versand, 80/20	Einführung eines Kanban-systems, konstanter Verbrauch von Teilen, uneingeschränkte Unterstützung des Top-Managements, Aufgeschlossenseinheit der Mitarbeiter, 80/20	kontinuierliche Produktion über Puffer und Wendestationen

Quelle: Eigene Darstellung.

Basierend auf der dargestellten Übersicht wird In-Line nachfolgend definiert als ein „einfaches Verfahren – vor allem in der Fertigung – in dem Produktionsmittel so angeordnet werden, dass der Produktionsablauf verbessert und die Zeit des Fertigungsprozesses vom Rohmaterial bis zum Endprodukt minimiert wird.“⁵⁶ Die komplette Fertigungszeit wird dabei auf die einzelnen Arbeitsplätze innerhalb einer Fertigungslinie zeitlich angeordnet und gleichmäßig aufgeteilt. Dies gewährt neben einem konstanten Produktionsfluss und einer Vollbeschäftigung zu jeder Zeit auch einen konstanten Output.⁵⁷ Abbildung 3 zeigt einen Produktionsfluss, dessen Gesamtproduktionsleistung dem langsamsten Arbeitsschritt entspricht. Obwohl in den vorgelagerten Arbeitsschritten eine höhere Kapazität vorliegt, entstehen Halbfabrikate, da der nachgelagerte Arbeitsschritt eine geringere Kapazität aufweist. Durch den Push-Forward Prozess entstehen immer mehr Halbfabrikate, die gelagert werden müssen.

Abbildung 3: Fertigung von Halbfabrikaten durch Push-Forward Prozess



Quelle: Cornelius Deutschland GmbH, In-Line, 2016, S. 13.

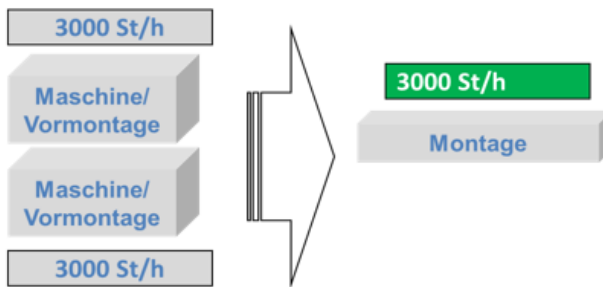
Durch In-Line und einer Umstellung auf einen Pull-Out Prozess werden Bestände an Halbfabrikaten verringert und komplett abgebaut, indem vorgelagerte Arbeitsschritte nicht mehr Kapazität erzeugen als nachgelagerte Arbeitsschritte verarbeiten können. Die Produktionsleistung bleibt gleich, verursacht jedoch weniger

⁵⁶ Vgl. Cornelius Deutschland GmbH, In-Line, 2016, S. 2.

⁵⁷ Vgl. Mir-Artigues, P., González-Calvet, J., Line Production, 2007, S. 63-65; Hesse, G., In-Line Organisation, 1989, S. 159.

Kosten. Überflüssige Kapazitäten und Halbfabrikate werden vermieden (Abbildung 4).

Abbildung 4: Beseitigung von Halbfabrikaten durch Pull-Out Prozess⁵⁸



Quelle: Cornelius Deutschland GmbH, In-Line, 2016, S. 14.

3.2 Umsetzungsmöglichkeiten und Ziele

Für die praktische Umsetzung finden sich in der Literatur einige Beispiele, aus denen sich die Vorteile und die Ziele für ein In-Line ableiten lassen.

Die Einführung eines vollautomatischen Biegezentrums in der Walter Stuff Feinblechverarbeitung e.K. mit Schwerpunkt in der Bearbeitung von Feinblechen setzt die Voraussetzung für eine In-Line-Fertigung, die neben der Steigerung der Produktivität auch zu einem effektiven Produktionsfluss führt. In einer Prozessplanung werden alle einzelnen Prozessschritte untersucht. Taktzeitstudien ermitteln den Zeitbedarf der verschiedenen Prozessschritte. Das Ergebnis – die An-

⁵⁸ Es wird kritisch darauf hingewiesen, dass die interne Abbildung der Cornelius Deutschland GmbH nicht richtig ist. Entsprechend dem Verständnis von In-Line, ist die gesamte Durchlaufzeit und Produktionsleistung auf alle Arbeitsschritte gleichmäßig zu verteilen. Bei einer nachgelagerten Kapazität von 3.000 St/h, muss im vorgelegerten Prozess entweder eine Maschine eine Kapazität von 3.000 St/h und die zweite Maschine eine Kapazität von 0 St/h oder beide Maschinen jeweils eine Kapazität von 1.500 St/h aufweisen. Eine größere Kapazität im vorgelagerten Prozess führt zum Aufbau von Halbfabrikaten und verhindert einen kontinuierlichen Produktionsfluss.

zahl der benötigten Arbeitsplätze – ermöglicht einen zeitlich aufeinander abgestimmten Produktionsfluss. Durch mobile Maschinen und flexibel einsetzbare Mitarbeiter wird eine gleichbleibende Auslastung aller Prozessschritte erreicht. Diese Prozesssicherheit innerhalb der kompletten Fertigung erlaubt eine hohe Qualität der Endprodukte, was zu Zeit- und Kostenersparnissen führt. Zusätzlich werden unnötige und vermeidbare Arbeiten eliminiert. Logistikaufwendungen und Durchlaufzeiten können reduziert werden, was bei der Walter Stuff Feinblechverarbeitung e.K. zu einer Reduzierung der Fertigungszeit von 23 Minuten um knapp 55 % auf 10 Minuten führt. Während vor der Einführung der In-Line-Fertigung ein Auftrag achtzehn Manntage und eine Durchlaufzeit von acht Tagen benötigte, sind aktuell dreizehn Manntage und eine Durchlaufzeit von zwei Tagen nötig.⁵⁹

Bei der Herstellung und Bearbeitung von Kunststoffteilen haben die Balda AG und die Singulus Technologies AG in Zusammenarbeit ein zukunftsweisendes In-Line-Verfahren bzw. eine In-Line Anlage entwickelt. Dieses In-Line Verfahren zeichnet sich durch „den weltweit ersten komplett integrierten Produktionsablauf dieser Art [aus].“⁶⁰ Der integrierte Produktionsablauf umfasst die automatische Weiterleitung von einem Teil von einer Bearbeitungsstation direkt zur nächsten. Die Basis für diese Anlage bietet das Prinzip des One-Piece-Flows. Beim One-Piece-Flow wird das Produkt nach der Bearbeitung direkt an die nächste Station zur Weiterbearbeitung geliefert. Vor einem Prozessschritt befindet sich maximal ein Werkstück, so dass keine Puffer- oder Materiallagerungen innerhalb der Prozessschritte erfolgen müssen.⁶¹ Durch die Fertigung aufeinander folgender einzelner Produkte wird die komplette Prozesskette nicht nur flexibel, sondern reduziert auch die Bestände bei verringerter Durchlaufzeit. Weitere Vorteile umfassen neben einem minimalen Flächenbedarf zur Fertigung der Produkte auch eine hohe Produktqualität. Zusätzlich werden Nebenzeiten vermieden und Qualitätskontrollen und Transportwege zwischen den einzelnen Prozessschritten auf ein Minimum reduziert. Prozesskosten können durch die Reduzierung des Lagerbestandes gesenkt werden. Die Kunden schätzen eine gleichbleibend hohe Qualität und eine niedrige Ausschussrate.⁶²

⁵⁹ Vgl. Henrich Publikationen GmbH, Inline-Fertigung Walter Stuff, 2006, o. S.

⁶⁰ Vgl. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, Inline-Verfahren, 2007, S. 32.

⁶¹ Vgl. Dickmann, P., One-Piece-Flow, 2015, S. 23.

⁶² Vgl. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, Inline-Verfahren, 2007, S. 32-36.

Die MAN Nutzfahrzeuge AG führte zur Optimierung der Fertigung von Lkw-Achsen das Line-back Konzept ein und steigerte die Produktion um 20 % auf 150.000 Achsen. Durch die vorhandenen Rahmenbedingungen, z.B. konstanter Verbrauch von Teilen, Linien- bzw. Fließfertigung statt Werkstättenprinzip, uneingeschränkte Unterstützung des Top-Managements und Aufgeschlossenheit der Mitarbeiter, ist durch das Line-back Konzept die „Verschwendung Schritt für Schritt in Richtung Rohmaterial zu verschieben und letztlich aus dem System zu eliminieren.“⁶³ Pullsysteme senken die Bestände und helfen dabei, die Produktion und Materialbereitstellung auf Tageslosgrößen zu planen. Die Einführung eines Kanbansystems, das One-Piece-Flow Prinzip oder die Trennung der Materialflüsse nach dem 80/20 Prinzip führen dazu, dass Lagerflächen gespart, Durchlaufzeiten verkürzt und Fehler und Ausschuss reduziert werden.⁶⁴

In allen drei dargestellten Umsetzungsmöglichkeiten sind Verbesserungen durch In-Line erzielt worden, auch wenn jede Einführung und Implementierung durch Anpassungen an die gegebene Produktion oder Lagerstrukturen erfolgt ist. Folgende Ziele lassen sich aus den Umsetzungsmöglichkeiten ableiten:

- Steigerung der Effizienz innerhalb der Fertigung
- Reduzierung der Durchlaufzeit
- Reduzierung des Lagerbestandes und des Flächenbedarfes
- Eliminierung von unnötigen und vermeidbaren Arbeiten

Daneben lassen sich noch weitere Vorteile für Unternehmen, Kunden und Arbeitnehmer ableiten (Tabelle 4).⁶⁵

⁶³ Konradin-Verlag Robert Kohlhammer GmbH, Line-back-Konzept, 2008, o. S.

⁶⁴ Vgl. Graf, F., Baller, R., Line-Back-Planung, 2016, S. 57; Konradin-Verlag Robert Kohlhammer GmbH, Line-back-Konzept, 2008, o. S.; MBtech Consulting GmbH, Lean Manufacturing, 2009, S. 5.

⁶⁵ Vgl. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, Inline-Verfahren, 2007, S. 32-36; Cornelius Deutschland GmbH, In-Line, 2016, S. 20-22; Graf, F., Baller, R., Line-Back-Planung, 2016, S. 55-58; Henrich Publikationen GmbH, Inline-Fertigung Walter Stuff, 2006, o. S.; Konradin-Verlag Robert Kohlhammer GmbH, Line-back-Konzept, 2008, o. S.; MBtech Consulting GmbH, Lean Manufacturing, 2009, S. 2-7.

Tabelle 4: Vorteile des In-Lines für Unternehmen, Kunden und Arbeitnehmer

Unternehmen	Kunden	Arbeitnehmer
Verbesserung der Qualität	Kürzere Vorlaufzeit für neue Projekte	Höhere Motivation
Reduzierung der Investitionsausgaben	Weniger Investitionen für neue Projekte	Entscheidungsspielraum
Geringere Komplexität, Problemfelder sind besser einzugrenzen	Kürzere Lieferzeiten	Mehr Eigentumsdenken, Ownership
Geringer Kommunikations- und Koordinationsbedarf	Gleichbleibend hohe Qualität	Mehr Verantwortung und Nähe zum Kunden
Kleine, überschaubare Einheiten, dadurch bessere Mitarbeiterführung		Flache Hierarchien
Größere Sicherheit durch geringere Anfälligkeit des Gesamtsystems		Weniger Konflikte
Konzentration auf eine Produktgruppe, dadurch bessere Produktkenntnis der Mitarbeiter		
Schnelle Reaktionsmöglichkeit (Werkzeug-, Maschinen-, Qualitätsprobleme)		
Höhere Flexibilität und Effektivität		

Quelle: Eigene Darstellung.

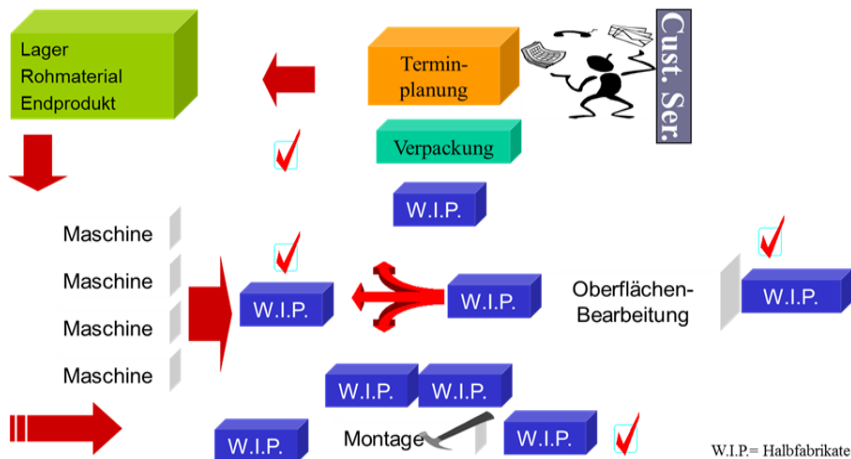
3.3 Kritische Betrachtung

Für eine kritische Betrachtung wird In-Line dem aktuell bei der Cornelius Deutschland GmbH verwendeten Verfahren der Batchfertigung gegenübergestellt.

Bei der Batchfertigung wird der Kundenauftrag vom Customer Service in das ERP-System eingegeben. Der Kundenauftrag löst eine Terminplanung in der Produktionsplanung aus. Mit Hilfe einer Materialverfügbarkeits- und einer Res-

Quellenprüfung wird der Kundenauftrag eingeplant und durch einen Fertigungsauftrag bestätigt. Die Freigabe des Fertigungsauftrages erfolgt in der Produktion in bestimmten, vorgegebenen Losgrößen (Batches) und verursacht Warenbewegungen zwischen dem Lager und der Fertigungsline bzw. der Maschine. Innerhalb des Fertigungsprozesses entstehen Halbfabrikate, die zwischengelagert werden müssen und erst an die nächste Station weitergegeben werden, wenn die komplette Losgröße von der vorgelagerten Station bearbeitet ist (Abbildung 5). Je mehr Teilprozesse ein Fertigungsprozess besitzt, desto mehr Halbfabrikate werden erzeugt und zwischengelagert.⁶⁶

Abbildung 5: Batchfertigung der Cornelius Deutschland GmbH



Quelle: Cornelius Deutschland GmbH, In-Line, 2016, S. 3.

⁶⁶ Vgl. Cresswell, L. et al., Batch Production, 2004, S. 24; Cornelius Deutschland GmbH, In-Line, 2016, S. 3; Stimpson, P., Smith, A., Production methods, 2015, S. 470.

Folgende Eigenschaften der Batchfertigung lassen sich zusammenfassen:⁶⁷

- Wiederholung kleinerer Auftragsmengen, die von Zeit zu Zeit produziert werden
- Transport und Lagerung von Material zwischen einzelnen Arbeitsstationen
- Herstellung vieler verschiedener Produkte in niedrigen bis mittleren Stückzahlen
- Aufbau eines prozess- oder zellularen Layouts für das Produktionssystem
- Abhängigkeit der Produktionsplanung von Aufträgen

Insbesondere wenn eine Fertigung ohne einen gleichbleibenden Fluss läuft und einzelne Arbeitsstationen unterschiedliche Tätigkeiten durchführen müssen, die nicht aufeinander abgestimmt sind, zeigen sich Ineffizienzen. Zusätzlich entstehen Qualitätsprobleme, Kosten für Nacharbeit, längere Durchlaufzeiten und ein erhöhter Platzbedarf durch (Zwischen-)Lagerung. Obwohl die Batchfertigung eine traditionelle und häufige Form der Produktion ist, bleibt die Frage, ob mit ihr Prozesse kontrolliert, überprüft und verbessert werden können.⁶⁸

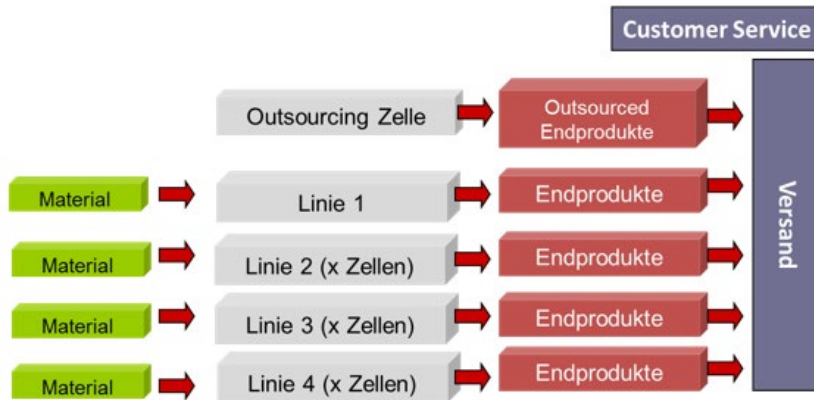
In-Line, welches hier als Vorstufe zur Industrie 4.0 gesehen werden kann, schafft neue Optimierungsansätze. Diese helfen dabei, die traditionellen Prinzipien einer dezentral organisierten Netzwerkorganisation mit Hilfe von wandlungsfähigen Produktionsstrukturen neu zu gestalten.⁶⁹ Dabei werden die vorhandenen Fertigungslinien der Cornelius Deutschland GmbH umgebaut, so dass die Prozessschritte körperlich hintereinander – in line – geschaltet und Abläufe vereinfacht werden (Abbildung 6).⁷⁰

⁶⁷ Vgl. Choudhari, S., Adil, G., Ananthakumar, U., Batch Production, 2012, S. 3703; Kukulka, A., Wirkus M., Batch Production Processes, 2017, S. 388.

⁶⁸ Vgl. Kukulka, A., Wirkus M., Batch Production Processes, 2017, S. 388; Protzman, C., McNamara, J., Protzman D., Batching, 2016, S. XVI.

⁶⁹ Vgl. Ehrenmann, F., Wandel von Produktionssystemen, 2015, S. 23.

⁷⁰ Vgl. Cornelius Deutschland GmbH, In-Line, 2016, S. 12.

Abbildung 6: In-Line Fertigung der Cornelius Deutschland GmbH

Quelle: Cornelius Deutschland GmbH, In-Line, 2016, S. 11.

Ähnlich wie bei der Lean Production und somit bei Industrie 4.0 sind es keine neuen Konzepte, die das Ziel einer Effizienzsteigerung verfolgen. Wie bereits die Umsetzungsmöglichkeiten gezeigt haben, gibt es nicht eine Möglichkeit, um die Effizienz zu steigern. Es ist das Zusammenwirken verschiedener Komponenten wie 80/20 Analyse, Kanban und PLS, die auf das Unternehmen individuell angepasst und umgesetzt werden müssen und den Wandel zu einer schlanken und bedienerfreundlichen Fabrik voranzutreiben.

Sowohl Effizienzsteigerungen als auch Verbesserungspotentiale zeigen sich in Form von direkten und indirekten Zielen. Direkte Ziele lassen sich quantifizieren, berechnen (Effizienzsteigerung, Durchlaufzeiten, Kosten etc.) und somit unmittelbar mit der Umsetzungsmaßnahme in Verbindung bringen. Ein zusätzlicher Vorteil von In-Line ist das Verbesserungspotential in Form von indirekten Zielen. Diese Ziele sind nicht quantifizierbar und können mit der Umsetzungsmaßnahme unternehmensweit oder -übergreifend zu Produkt- und Prozessverbesserungen führen.⁷¹ Zu den indirekten Zielen zählen neben der Verbesserung der Kommunikation zwischen den einzelnen Abteilungen wie Produktion, Materialdisposition

⁷¹ Vgl. Ortelbach, B., Direkte/Indirekte Ziele, 2007, S. 131 f.

und Vertrieb auch Vereinbarungen, die Regelungen und Standards für Prozessabläufe schaffen und eine bessere Produktions- und Kapazitätsplanung durch eine Glättung des Produktionsplans.

4 Data Envelopment Analysis

Sowohl Industrie 4.0 als auch die Zwischenschritte in der Entwicklungsstufe in Form von Lean Production oder In-Line gestalten den Produktionsprozess effizienter. Zum besseren Verständnis wird nachfolgend der Begriff der Effizienz definiert, da dieser Begriff die Grundlage für die Effizienzmessung darstellt. Neben einer Erläuterung diverser Methoden zur Effizienzmessung wird am Ende des Kapitels die Methodenauswahl der DEA bewertet.

4.1 Begriff der Effizienz

Der Begriff der Effizienz bildet das grundlegende Verständnis für eine Effizienzmessung. Auch die zentrale Frage der Arbeit beschäftigt sich mit der Effizienz bzw. der Effizienzmessung als Bewertungskriterium für das In-Line. In der Literatur ist der Effizienzbegriff nicht immer einheitlich definiert.⁷² Der Begriff Effizienz wird auch oft mit Produktivität, Effektivität, Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit gleichgesetzt, so dass es einen Definitionsstandard für diese Arbeit festzulegen gilt.⁷³

Bei der Effektivität handelt es sich um „ein Beurteilungskriterium, mit Hilfe dessen sich beschreiben lässt, ob eine Maßnahme geeignet ist, ein vorgegebenes Ziel zu erreichen. Die Art und Weise der Zielerreichung werden dabei außer Acht gelassen, sodass sie auch nicht direkt in die Bewertung einfließen.“⁷⁴ Vereinfacht gesagt handelt es sich bei der Effektivität um eine Outputbetrachtung, d.h. es wird nach dem Zielerreichungsgrad – dem erzielten Ergebnis – gefragt. Jegliche andere Faktoren werden nicht berücksichtigt.⁷⁵ Dem gegenüber stellt die Effizienz ein Beurteilungskriterium dar, mit dem überprüft werden kann, ob ein vereinbartes Ziel durch eine geeignete Maßnahme erreicht wurde.⁷⁶ Da der Begriff der Effizienz einen normativen Aspekt beinhaltet (ökonomisches Prinzip), werden Referenzwerte benötigt, um verschiedene Effizienzwerte miteinander vergleichen zu können.⁷⁷

⁷² Vgl. Kerpen, P., Praxisorientierte DEA, 2016, S. 9.

⁷³ Vgl. Bohr, K., Effizienz und Effektivität, 1993, S. 855.

⁷⁴ Schröder, A., Effizienz und Effektivität, o. J., o. S.

⁷⁵ Vgl. Kerpen, P., Praxisorientierte DEA, 2016, S. 11.

⁷⁶ Vgl. Schröder, A., Effizienz und Effektivität, o.J., o. S.

⁷⁷ Vgl. Dellnitz, A., Produktivitäts- und Effizienzverbesserungen, 2016, S. 4.

Sowohl Effektivität als auch Effizienz stellen Kennzahlen dar, die als Führungsinstrumente, zur Unterstützung von Produktionsstrategien oder zum Messen von Werten und Zuständen genutzt werden können. Mit Hilfe von Kennzahlen werden vorwiegend subjektive Einschätzungen und gefühlte Zustände objektiviert. Die damit einhergehende Transparenz ermöglicht es, Ursachen und Wirkzusammenhänge zu untersuchen und zu analysieren.⁷⁸ Beispiele für Effektivitätskennzahlen sind Mengenkennzahlen, zeitbezogene Kennzahlen und Konformitätskennzahlen, z.B. die Liefertreue als klassische Effektivitätskennzahl für einen Auftragsabwicklungsprozess. Effizienzkennzahlen finden sich z.B. in Prozesskosten, Stückkosten, Produktivität oder Deckungsbeiträgen wieder.⁷⁹

4.2 Grundlagen der Effizienzmessung

Zur Messung von Effizienzwerten finden sich in der Literatur diverse Methoden, die dabei helfen, das Verhältnis zwischen Input und Output zu bewerten. Der Bereich umfasst neben traditionellen Vergleichen von betriebswirtschaftlichen Kennzahlen auch moderne Methoden auf Basis von Produktionsfunktionen mit mehreren Input- und Outputfaktoren.⁸⁰ Abbildung 7 gibt einen Überblick über die Einordnung verschiedener Effizienzmessungen; neben den verschiedenen Effizienzmessungen werden auch konkrete Anwendungstools aufgelistet.

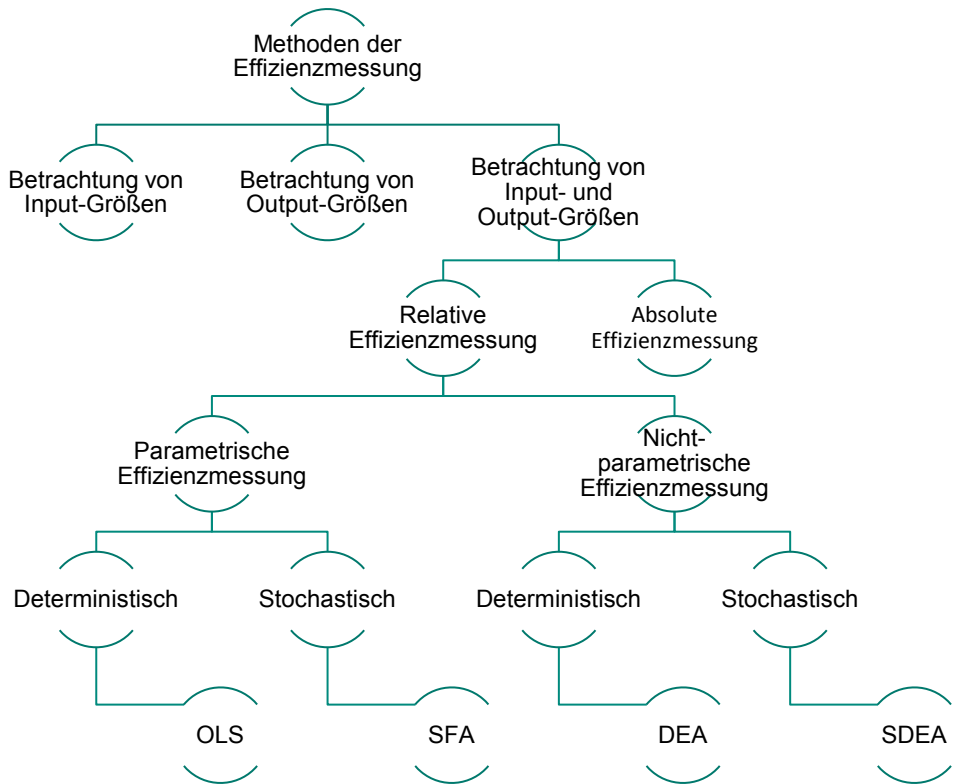
Um die ideale Methode zur Effizienzmessung zu finden, müssen einige Aspekte bei der Auswahl entsprechend berücksichtigt werden. Neben den individuellen Vor- und Nachteilen eines Verfahrens (z.B. Zeitaufwand, softwaregestützte Berechnung, Art der Effizienzlinie, Umgang mit Messfehlern), sollte das Verfahren auch auf die Betrachtungsweise und das Erkenntnisinteresse abgestimmt werden.⁸¹

⁷⁸ Vgl. Gottmann, J., Produktionscontrolling, 2016, S. 37 ff.

⁷⁹ Vgl. Pfeffer, M., Effektivitäts-/Effizienzkennzahl, 2014, S. 22; Pfeifer, T., Schmitt, R., Effektivitäts-/Effizienzkennzahl, 2014, S. 1036.

⁸⁰ Vgl. Hammerschmidt, M., Effizienzanalyse im Marketing, 2006, S. 104-134; Last, A., Wetzel, H., Effizienzmessverfahren, 2009, S. 5-13; Schlindwein, R., Effizienzanalyse, 2016, S. 25-28.

⁸¹ Vgl. Burger, A., Produktivität und Effizienz, 2008, S. 47.

Abbildung 7: Methoden der Effizienzmessung

Quelle: In Anlehnung an Hutter, K., Hoffmann, S., *Effizienzmessung*, 2013, S. 148; Kerpen, P., *Praxisorientierte DEA*, 2016, S. 42.

Die Betrachtungsweise der Effizienzmessung richtet sich nach der Betrachtung der Input- und Outputgrößen. Neben einer reinen Input-/Outputbetrachtung kann auch eine kombinierte Betrachtung beider Größen erfolgen. Sowohl die Input- als auch die Outputbetrachtung messen einzelne Kenngrößen und erlauben hierdurch keine Effizienzbewertung. Eine kombinierte Betrachtung stellt die Input- und Outputgrößen in ein Verhältnis und ermöglicht eine Bewertung. Zusätzlich

lassen sich daraus Maßnahmen zur Effizienzverbesserung ableiten.⁸² Bei der Unterscheidung zwischen absoluten und relativen Effizienzmessungen geht es um die Herleitung einer Relation. Während für die absoluten Effizienzmessungen „einzelne Output-Input-Relationen ohne Bezug zu anderen Werten“⁸³ stehen, ist für relative Effizienzmessungen eine simultane Betrachtungsweise kennzeichnend. Die ermittelten Effizienzwerte werden zu einem Referenzwert betrachtet und lassen sich so vergleichen.⁸⁴ Die Aufteilung der relativen Effizienzmessungen in parametrische und nicht-parametrische Verfahren bezieht sich auf die Verteilung der Grundgesamtheit. Während bei einer parametrischen Messung die Verteilung (in der Regel) einer Normalverteilung entspricht, wird bei nicht-parametrischen Messungen allgemein die Verteilungsfunktion betrachtet, da hier keine bestimmte Verteilung vorliegt.⁸⁵ Deterministischen Verfahren liegen zuverlässige, empirische Daten vor, die frei von Verzerrungen oder Fehleinschätzungen sind. Das Ergebnis ist, dass „einem Zustand abhängig von der Eingabe ein vorher definierter Folgezustand [folgt].“⁸⁶ Bei gegebenen Inputgrößen oder gleichen Aufgaben ergibt sich immer ein eindeutiges und sicher prognostizierbares Ergebnis.⁸⁷ Stochastische Messungen berücksichtigen mögliche Fehler bei der Berechnung von Produktionsfunktionen.⁸⁸

Der eingeführte Begriff der Effizienz findet sich erstmals im Jahre 1897 in der von Pareto formulierten Definition des wohlfahrtsökonomischen Prinzips. Nach dieser Definition ist es unmöglich, „ein Individuum besser zu stellen, ohne gleichzeitig ein anderes schlechter zu stellen.“⁸⁹ In den grundlegenden Arbeiten von Debreu und Koopmans ist dieser Begriff in die Produktionstheorie übertragen worden.⁹⁰ Die Ausgangsbasis der DEA stellen die auf den Arbeiten von Debreu/Koopmans weiterführenden Arbeiten und Ausführungen von Farrell und Shepard dar, die in

⁸² Vgl. Hutter, K., Hoffmann, S., Effizienzmessung, 2013, S. 146.

⁸³ Hutter, K., Hoffmann, S., Effizienzmessung, 2013, S. 146.

⁸⁴ Vgl. Reinecke, S., Janz, S., Effizienzmessung, 2006, S. 165.

⁸⁵ Vgl. Boehnke, K., Nicht-parametrische Methoden, 1983, S. 22.

⁸⁶ Niedhart, N., Deterministische Methoden, 2009, S. 9.

⁸⁷ Vgl. Streck, G., Deterministische Methoden, 2004, S. 52.

⁸⁸ Vgl. Dorfard, A., Kosteneffizienzen und Einsparpotentiale, 2014, S. 25; Dyckhoff, H., Spengler, T., Produktionswirtschaft, 2010, S. 139 f.

⁸⁹ Wilken, R., Dynamisches Benchmarking, 2007, S. 11.

⁹⁰ Vgl. Debreu, G., Begriff der Effizienz, 1951, S. 273-292; Koopmans, T., Begriff der Effizienz, 1951, S. 33-97; Pareto, V., Wohlfahrtsökonomisches Prinzip, 1897.

dem Zusammenhang die Effizienz von Produktionseinheiten charakterisieren.⁹¹ Auf Basis dieser Ausarbeitungen haben Charnes/Cooper/Rhodes 1978 die heute bekannte DEA, eine deterministische nicht-parametrische Methode der Effizienzmessung vergleichbarer DMUs entwickelt. Dieses Modell wird nach ihren Initialen als CCR-Modell bezeichnet und wurde 1984 durch Banker/Charnes/Cooper (BCC-Modell) modifiziert.⁹²

Zur Vorgehensweise der DEA wird mit Hilfe von Input- und Outputfaktoren „die Produktionsfunktion approximativ bestimmt und auf ihr liegende DMUs als effizient definiert.“⁹³ Es wird „eine empirische Randproduktionsfunktion ohne vorherige Kenntnis des funktionalen Input-Output-Zusammenhangs allein auf Basis der tatsächlich realisierten Input- und Outputkombinationen beobachteter Decision Making Units [gebildet].“⁹⁴ Die sich daraus ergebende Effizienzmessung vergleicht jede einzelne DMU mit allen anderen, um die effizienteste DMU zu identifizieren.⁹⁵ Neben einem Unternehmen oder einer Institutionen kann eine DMU auch Teilbereiche wie einzelne Werke oder Fertigungslinien umfassen. Voraussetzung ist, dass jede zu untersuchende DMU Entscheidungen selbstständig treffen kann und somit für den Output verantwortlich ist.⁹⁶ Abbildung 8 stellt anschaulich die Vorgehensweise der DEA am Beispiel von 10 DMUs mit je einem Input und einem Output dar. Für jede einzelne DMU wird die Effizienz berechnet und diese dann mit allen anderen DMUs verglichen. Die Randproduktionsfunktion wird durch die DMUs 1 bis 6 approximativ bestimmt, so dass alle auf ihr liegenden DMUs als effizient ausgegeben werden.⁹⁷

⁹¹ Vgl. Farrell, M. J., *Productive Efficiency*, 1957, 253-281; Shephard, R. W., *Cost and Production Functions*, 1953.

⁹² Vgl. Banker, R., Charnes, A., Cooper, W., *BCC Data Envelopment Analysis*, 1984, S. 1078-1092; Charnes, A., Cooper, W., Rhodes, E., *CCR Data Envelopment Analysis*, 1978, S. 429-444.

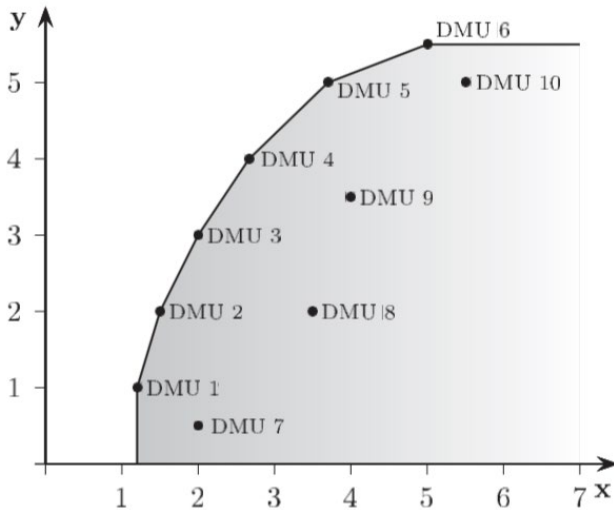
⁹³ Kerpen, P., *Praxisorientierte DEA*, 2016, S. 45.

⁹⁴ Hammerschmidt, M., *Effizienzanalyse im Marketing*, 2005, S. 143.

⁹⁵ Vgl. Hammerschmidt, M., *Effizienzanalyse im Marketing*, 2005, S. 143; Kerpen, P., *Praxisorientierte DEA*, 2016, S. 45; Schlindwein, R., *Effizienzanalyse*, 2016, S. 28 ff.

⁹⁶ Vgl. Schlindwein, R., *Effizienzanalyse*, 2016, S. 29.

⁹⁷ Die mathematische Herleitung der Vorgehensweise der DEA und die Berechnung der einzelnen Effizienzen sind nicht Bestandteil der vorliegenden Arbeit.

Abbildung 8: Vorgehensweise der DEA mit einer Randproduktionsfunktion

Quelle: Dellnitz, A., Produktivitäts- und Effizienzverbesserungen, 2016, S. 31.

Da die DMUs 7, 8, 9 und 10 nicht auf der Randproduktionsfunktion liegen, ist deren Effizienz geringer als die der anderen DMUs. Im Rahmen einer Effizienzanalyse kann der Abstand der jeweiligen DMU zum effizienten Rand der Funktion ermittelt werden, um so Maßnahmen zu treffen, damit die DMU genauso effizient arbeitet, wie die DMUs auf der Randproduktionsfunktion.⁹⁸

⁹⁸ Vgl. Kerpen, P., Praxisorientierte DEA, 2016, S. 26-28.

Zum Thema DEA finden sich in der Literatur neben zahlreichen Publikationen in Form von Artikeln in wissenschaftlichen Zeitschriften auch Bücher, Monografien und Arbeitspapiere. Neben der praktischen Anwendung zur Qualitätsbeurteilung von Ergebnissen einer Effizienzmessung existieren auch zahlreiche Studien, die sich mit dem theoretischen Aspekt der Modellformulierung beschäftigen und die Methode der DEA weiterentwickeln.⁹⁹

4.3 Voraussetzungen für eine DEA-Messung

Zur Durchführung der DEA gilt es, wesentliche Prämissen einzuhalten. Die nachfolgenden Prämissen basieren auf den Arbeiten von Dyckhoff¹⁰⁰, die später in Zusammenarbeit mit Spengler ergänzt wurden:¹⁰¹

- Berücksichtigung von natürlichen Zahlen (Input- und Outputgrößen dürfen nicht negativ sein)
- Vergleichbarkeit der DMUs
- Berücksichtigung der gleichen Technik (Ausgangslage) für alle Produktionseinheiten
- Möglichkeit aller Konvexkombinationen
- Wirksamkeit zwischen Input- und Outputgrößen (unter Berücksichtigung von ceteris paribus ist es vorteilhafter, je größer die Outputgröße und je kleiner die Inputgröße ist)

Die Effizienzanalyse ist ursprünglich für den öffentlichen non-profit Sektor entwickelt worden. Daneben existieren aktuell diverse Abänderungen der DEA, um sie

⁹⁹ Vgl. Al-Refaie, A., Optimizing DEA performance, 2012, S. 262-276; Chen, W., Dual-role factors in DEA, 2014, S. 653-663; Hammerschmidt, M., Wilken, R., Staat, M., DEA Datenqualität, 2009, S. 290; Petridis, K., Chatzigeorgiou A., Stiakakis, E., S-T DEA, 2016, S. 475-496; Wang, R., Ho, C., Oh, K., Production and marketing efficiency, 2010, S. 183-199.

¹⁰⁰ Vgl. Dyckhoff, H., Produktionstheorie, 2006, S. 177.

¹⁰¹ Vgl. Dyckhoff, H., Spengler, T., Produktionswirtschaft, 2010, S. 141-144.

so für einen Einsatz im halbstaatlichen und privaten Sektor zu verlagern.¹⁰² Zusätzlich finden sich Effizienzmessungen mittels DEA in Kombination mit anderen Messverfahren oder Algorithmen.¹⁰³

Eine weitere, wichtige Voraussetzung für eine Effizienzmessung mit DEA ist das optimale Verhältnis zwischen In- und Outputvariablen und der DMUs, um für eine aussagekräftige Analyse genügend Freiheitsgrade zu gewährleisten. Für ein gutes Verhältnis zwischen DMUs, Inputs und Outputs finden sich in der Literatur einige Vorschläge. Während Golany und Roll als Regel festlegen, dass die Anzahl der DMUs mindestens das Doppelte der Anzahl der Inputs und Outputs beträgt, beschreibt Bowlin ein Verhältnis, bei dem für jede verwendete In- und Outputvariable drei DMUs benötigt werden. Dyson et al. verlangen eine doppelt so große Anzahl der DMUs wie das Produkt aus Inputs und Outputs. Charnes/Cooper empfehlen die Anzahl der DMUs dreimal so groß wie die Summe aus Inputs und Outputs zu wählen.¹⁰⁴ Für eine Effizienzmessung mit 4 Inputs und 5 Outputs ergeben sich somit nach Golany und Roll 18 DMUs, nach Bowlin 27 DMUs, nach Dyson et al. 40 DMUs und nach Charnes/Cooper 27 DMUs. Alle hier dargestellten Zahlen beschreiben ein Minimum an DMUs für die grundlegende Effizienzmessung.

4.4 Bewertung der DEA-Anwendung

Die grundsätzliche Wahl der Methode stellt ein entscheidendes Problem dar, da Unterschiede sowohl in den Skaleneffizienzen als auch in den Skalierungseigenschaften bei Verwendung von parametrischen und nicht-parametrischen Methoden zu unterschiedlichen Interpretationen führen.¹⁰⁵ Ein Vergleich über die Methodenauswahl in der Literatur zeigt, dass DEA die meist verwendete Methode im Bereich der Effizienzmessung ist. Eling und Luhn haben in ihrer Untersuchung 95 empirische Studien untersucht. Das Ergebnis ist, dass in 55 Studien

¹⁰² Vgl. Dyckhoff, H., Spengler, T., Produktionswirtschaft, 2010, S. 141.

¹⁰³ Vgl. Chitnis, A., Vaidya, O., DEA and TOPSIS, 2016, S. 165-182; Elhami, B., Akram, A., Khanali, M., DEA-MOGA, 2016, S. 190-205; Kwon, H., Lee, J., Roh, J., DEA-ANN Approach, 2016, S. 704-721.

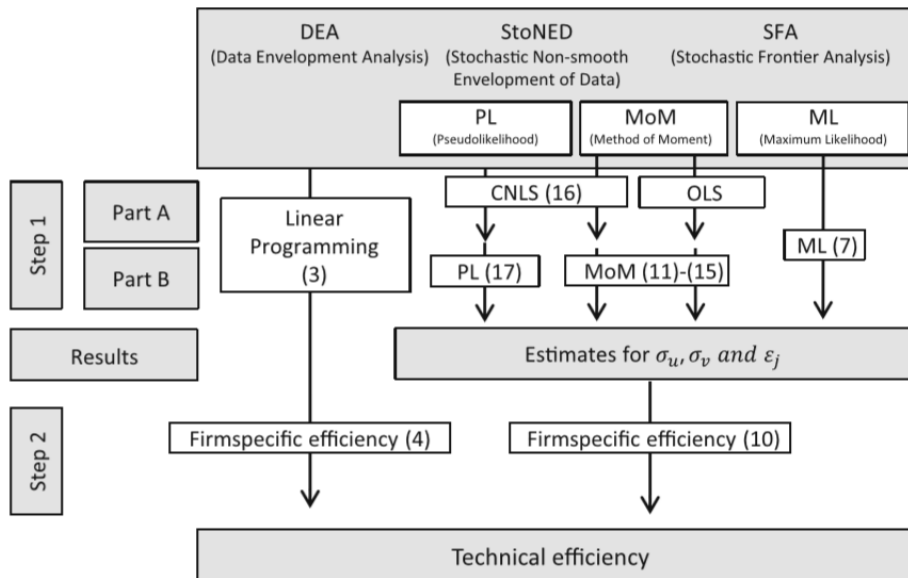
¹⁰⁴ Vgl. Bowlin, W., Measuring Performance DEA, 1998, S. 18; Charnes, A., Cooper, W., Data Envelopment Analysis, 1990, S. 641-646; Dyson, R. et al., Pitfalls and Protocols in DEA, 2001, S. 247; Golany, B., Roll, Y., Application Procedure DEA, 1989, S. 239.

¹⁰⁵ Vgl. Madau, F., SFA and DEA, 2015, S. 16.

DEA und in 22 Studien SFA (Stochastic Frontier Analysis) verwendet wurde. Für die restlichen Studien sind sonstige Methoden oder eine Kombination mehrerer Methoden zum Einsatz gekommen.¹⁰⁶ Die Untersuchung zeigt, dass SFA sowohl als eigenständige Alternative als auch zur möglichen Ergänzung der DEA verwendet wird.¹⁰⁷

Im Gegensatz zur DEA handelt es sich bei SFA um ein parametrisches Verfahren, bei dem die Produktionsfunktion vorliegen muss, um eine Effizienzanalyse durchführen zu können. Abbildung 9 verdeutlicht das Methodenverfahren zwischen DEA und SFA.

Abbildung 9: Überblick über Methodenverfahren zwischen DEA und SFA



Quelle: Andor, M., Hesse, F., Vergleich SFA und DEA, 2014, S. 88.

¹⁰⁶ Vgl. Eling M., Luhn, M., Effizienzmethoden, 2012, S. 22.

¹⁰⁷ Vgl. Bogetoft, P., Otto, L., Benchmarking, 2011, S. 96; Coelli, T. et al., Efficiency and Productivity Analysis, 2005, S. 312; Avkiran, N., Zhu, Y., DEA against SFA, 2016, S. 113 f.

Während bei der DEA durch lineare Programmierung direkt auf die Effizienz der DMUs geschlossen wird, muss bei SFA die Produktionsfunktion vorliegen, um so mit einer Berechnung der Maximalwahrscheinlichkeit die Parameterschätzung durchführen zu können. In einem zweiten Schritt wird über die Berechnung individueller Effizienzwerte der Effizienzvergleich aller zu vergleichenden DMUs hergestellt.¹⁰⁸

Je nach Untersuchungsfall ist die exakte Formulierung einer Produktionsfunktion mit mehreren Input- und Outputgrößen kompliziert bis unmöglich. Die DEA ermittelt eine Produktionsfunktion mit Hilfe mehrerer Input- und Outputgrößen, die zudem in unterschiedlichen Einheiten vorliegen können. Durch eine individuelle Gewichtung der Input- und Outputfaktoren, die sich im Rahmen der Optimierung ergibt, fließen keine subjektiven Einflüsse in die Berechnung ein. Durch den hohen Grad der Objektivität erfüllt die DEA die Anforderungen des wissenschaftlichen Arbeitens.¹⁰⁹ Auch wenn beide Verfahren strukturelle Unterschiede zur Berechnung des effizienten Rands einer Produktionsfunktion miteinbeziehen, überwiegen die Vorteile der DEA.¹¹⁰

Neben der Anfälligkeit für Messfehler stellt eine zu geringe Anzahl von Entscheidungseinheiten eine Grenze der DEA dar. In so einem Fall werden zu viele DMUs aufgrund der fehlenden Vergleichsmöglichkeiten als effizient ausgegeben. Diverse Regeln zur Berechnung der optimalen Anzahl an DMUs sollen dabei helfen, eine Effizienzanalyse zu erhalten, die die tatsächlichen Umstände und Beziehungen widerspiegelt.¹¹¹

¹⁰⁸ Vgl. Andor, M., Hesse, F., Vergleich SFA und DEA, 2014, S. 87-89.

¹⁰⁹ Vgl. Kerpen, P., Praxisorientierte DEA, 2016, S. 90 ff.; Schlamp, R., SFA, 2006, S. 95.

¹¹⁰ Vgl. Kerpen, P., Praxisorientierte DEA, 2016, S. 90 ff.

¹¹¹ Vgl. Bezat, A., Vergleich DEA und SFA, 2009, S. 27; Hammerschmidt, M., Effizienzanalyse im Marketing, 2006, S. 168.

5 Praktische Anwendung der Data Envelopment Analysis

Wie in der Einleitung beschrieben erfolgt eine Anpassung der Produktion aufgrund neuer Gegebenheiten. Die Anpassung orientiert sich dabei an einer prozessorientierten Ausrichtung mit dem Ziel der Effizienzsteigerung und der Kosteneinsparung. Neben dem Umbau der Produktion auf In-Line, steht im Praxisbeispiel die Effizienzmessung mit Hilfe der DEA im Vordergrund. Ein Vergleich der Effizienzwerte schafft eine Datengrundlage für ein Bewertungskriterium, ob mit der Anpassung auf In-Line Effizienzsteigerung erreicht werden konnten.

5.1 Vorstellung des Praxis-/Anwendungsfalls

Die Cornelius Deutschland GmbH mit Sitz in Langenfeld (Rheinland) ist ein weltweit tätiger Hersteller von Getränkeköhl- und Ausschanksystemen. Das Geschäftsfeld – Offenausschank von Kaltgetränken – umfasst die Fertigung von Kühlgeräten, Zapftowern, Karbonatoren, Wassergeräten sowie den Vertrieb von Zubehörteilen. Aufgrund einer Segmentierung ist das Geschäftsfeld in die Bereiche Soft, Water, Beer, Retail und Parts & Accessories aufgeteilt worden. Neben weltweiten Produktionsstandorten wird darüber hinaus der direkte Kundenkontakt über weltweite Vertriebsbüros hergestellt. Cornelius beschäftigt weltweit etwa 2.500 Mitarbeiter. Zu den Kunden gehören namhafte Unternehmen wie The Coca-Cola Company, PepsiCo, McDonalds, Sinalco, die Unternehmensgruppe Yum! Brands (Kentucky Fried Chicken, Pizza Hut, Taco Bell), verschiedene Brauereikonzerne sowie die Grohe AG und Werften für z.B. Mein Schiff. Die Cornelius Deutschland GmbH gehört seit Frühjahr 2014 der US-amerikanischen Marmon-Gruppe und derer Geschäftseinheit Beverage Dispense und Merchandising an. Die Marmon-Gruppe gehört zur Holdinggesellschaft Berkshire Hathaway Inc., deren Vorsitzender der Investor Warren Buffet ist.¹¹²

Das aktuelle Produktionskonzept der Cornelius Deutschland GmbH ist gekennzeichnet durch eine Batchfertigung (siehe Kapitel 3, Abbildung 5).¹¹³ Kennzeichnend für die Fertigung ist der Transport der Teile für nachgelagerte Arbeitsschritte. Alle operativen Tätigkeiten sind auf die zentralisierten Maschinen und Arbeitsplätze ausgerichtet, so dass teilweise lange Transportwege zwischen den

¹¹² Vgl. Cornelius Deutschland GmbH, Unternehmensvorstellung, 2015, o. S.

¹¹³ Die Batchfertigung wird intern auch als Partien-Fertigung bezeichnet.

Arbeitsplätzen entstehen. Dies führt nach Auftragsfreigabe zu einem langen und umständlichen Prozessablauf, wodurch entsprechend auch lange Durchlaufzeiten entstehen. Da jeder Arbeitsplatz für eine Maximierung des Outputs ausgelegt ist, werden Halbfabrikate produziert, die für nachgelagerte Arbeitsplätze aufgrund derer geringeren Kapazität oder Ausbringungsmenge zwischengelagert werden müssen. Die Zwischenlagerung führt zu hohen Beständen an Halbfabrikaten und Endprodukten. Kommt es während der Produktion an einem Arbeitsplatz zu einem Materialengpass, führt dies zu einer Unterbrechung der Produktion. Die Steuerung der Gesamtkapazität ist schwierig, da die einzelnen Arbeitsschritte nicht aufeinander abgestimmt sind und unterschiedliche Durchlaufzeiten aufweisen. Kapazitäten werden für einzelne Maschinen- und Montagezentren gemessen.¹¹⁴

Innerhalb der Verwaltung, speziell in der Fertigungsplanung, entstehen Ineffizienzen durch eine umständliche Handhabung. Die nicht aufeinander abgestimmten Arbeitsschritte und die fehlenden Echtzeitinformationen über den aktuellen Status eines Fertigungsauftrages erschweren eine ganzheitliche Produktionsplanung, so dass es immer wieder zu verspäteten Auslieferungen durch überfällige Fertigungsaufträge kommt.¹¹⁵

Die gesamte Fertigung ist in unterschiedliche Zellen (z.B. Energize 2, Energize 3, Energize 4, Tower, Loop) aufgeteilt, in denen unterschiedliche Gerätetypen gefertigt werden. Zellen umfassen mehrere Mitarbeiter und Arbeitsplätze (Chassis, Zwischenmontage, Verpackung etc.). Es existieren innerhalb der gesamten Fertigung unterschiedliche Fertigungsorganisationen, die sowohl nach dem Verichtungsprinzip als auch nach dem Fließprinzip angeordnet sind. Ein Großteil der Produktion ist in der Form einer Werkstattfertigung aufgebaut, in der Maschinen, Tätigkeiten und Funktionen, die die gleiche Verrichtung ausführen, räumlich zu einer Werkstatt oder einem Teilsystem zusammengefasst sind. In drei Zellen erfolgt die Anordnung der Maschinen nach dem Produktdurchlauf und somit einer hintereinander angeordneten Abfolge der Tätigkeiten.¹¹⁶ Die Gründe dafür liegen im Fertigungsprozess. Bis zum Jahre 2014 ist ein Großteil der Geräte mit einem

¹¹⁴ Vgl. Cornelius Deutschland GmbH, In-Line, 2016, S. 4; Kukułka, A., Wirkus M., Batch Production Processes, 2017, S. 388 f.

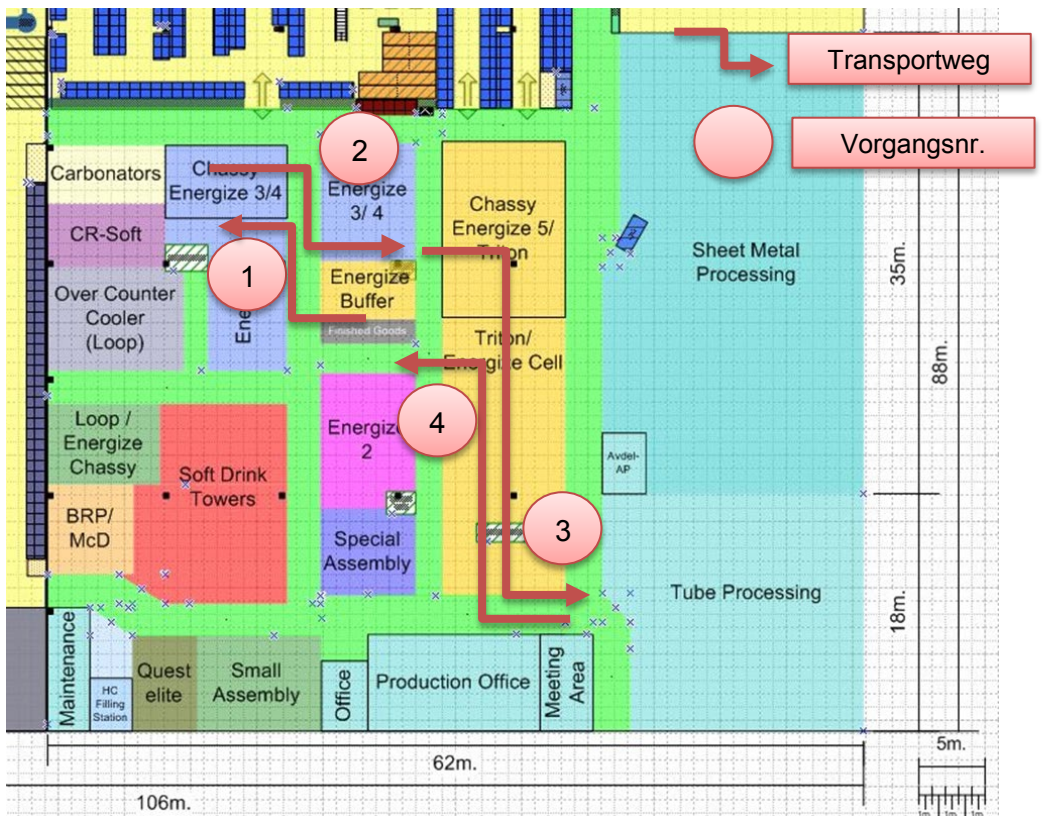
¹¹⁵ Vgl. Cornelius Deutschland GmbH, In-Line, 2016, S. 4.

¹¹⁶ Vgl. Bauer, J., Fertigungsorganisation, 2003, S. 57; Brecht, U., Werkstattfertigung, 2005, S. 108; Holthaus, O., Werkstattfertigung, 1996, S. 1.

vorgefertigten Chassis aus dem Produktionswerk aus China gefertigt worden. In den letzten zwei bis drei Jahren sind einige Chassis aus strategischen Gründen am Standort in Langenfeld gefertigt worden, was eine Änderung des Fertigungsprozesses erforderte. Die Integration der Fertigung der Chassis führte zu einem ersten linearen Aufbau der Zellen.

Abbildung 10 zeigt das aktuelle Layout der Fertigung der BU Soft und beispielhaft den Prozess der Fertigung eines Energize 3.¹¹⁷

Abbildung 10: Fertigungsprozess mit aktuellem Fertigungslayout



Quelle: Cornelius Deutschland GmbH, Factory Layout, 2016, S. 4.

¹¹⁷ Die Cornelius Deutschland GmbH ist am Standort in Langenfeld in die Business Units Parts & Accessories, Retail, Soft und Wasser aufgeteilt.

Nach Auftragsfreigabe durch die Produktion wird der Auftrag vom Lager kommissioniert und auf einer speziell eingerichteten Pufferzone zwischengelagert. In einem ersten Arbeitsschritt wird das Chassis für das Gerät von einem Mitarbeiter zusammengebaut. Der Lötter ist für den Kältekreislauf verantwortlich und lötet diesen zusammen. Für diesen Vorgang holt der Mitarbeiter den Auftrag aus der Pufferzone und bringt ihn an seinen Arbeitsplatz (Vorgang 1). In einem weiteren Arbeitsschritt wird das Gerät an den nächsten Arbeitsplatz für die Zwischenmontage gebracht (Vorgang 2). Hier erfolgt die Verkabelung, Verschlauchung, Fertigung von Baugruppen und Montage des Kühlschlangenpakets. Nach der Zwischenmontage wird das Gerät an den Teststationen getestet. Neben allen relevanten Sicherheitsprüfungen erfolgt auch eine Funktionsprüfung (Vorgang 3). Wenn alle Prüfungen erfolgreich absolviert sind, wird das Gerät verpackt und auf eine gekennzeichnete Fläche für Endprodukte gebracht (Vorgang 4). Es erfolgt zusätzlich eine Rückmeldung des Auftrags und eine Einlagerung in das Warenlager. Der Transport und die Zwischenlagerung von Halbfabrikaten gehören zu einer von vielen Verschwendungen, die ursprünglich in der Lean Production aufgelistet wurden. Verschwendung umfasst „jede Aktivität, die Ressourcen in irgendeiner Form (Arbeitskraft, Flächen, Maschinen etc.) verbraucht, jedoch keinen Wert erzeugt.“¹¹⁸ Ein Ziel von Lean Production und In-Line ist die Beseitigung von Verschwendungen. Halbfabrikate verbrauchen Material, Personal, Maschinen- und Montagekapazitäten, können aber nicht verkauft werden. Bei einem Material- oder Fertigungsfehler müssen alle Halbfabrikate nachgearbeitet oder verschrottet werden. Neben einem Fertigungsrückstand innerhalb der Fertigung und einer Qualitätsminderung entstehen zusätzliche Kosten durch Neubeschaffung, Überstunden oder Schichtarbeit in der Produktion und durch Sonderfahrten zum Kunden.¹¹⁹

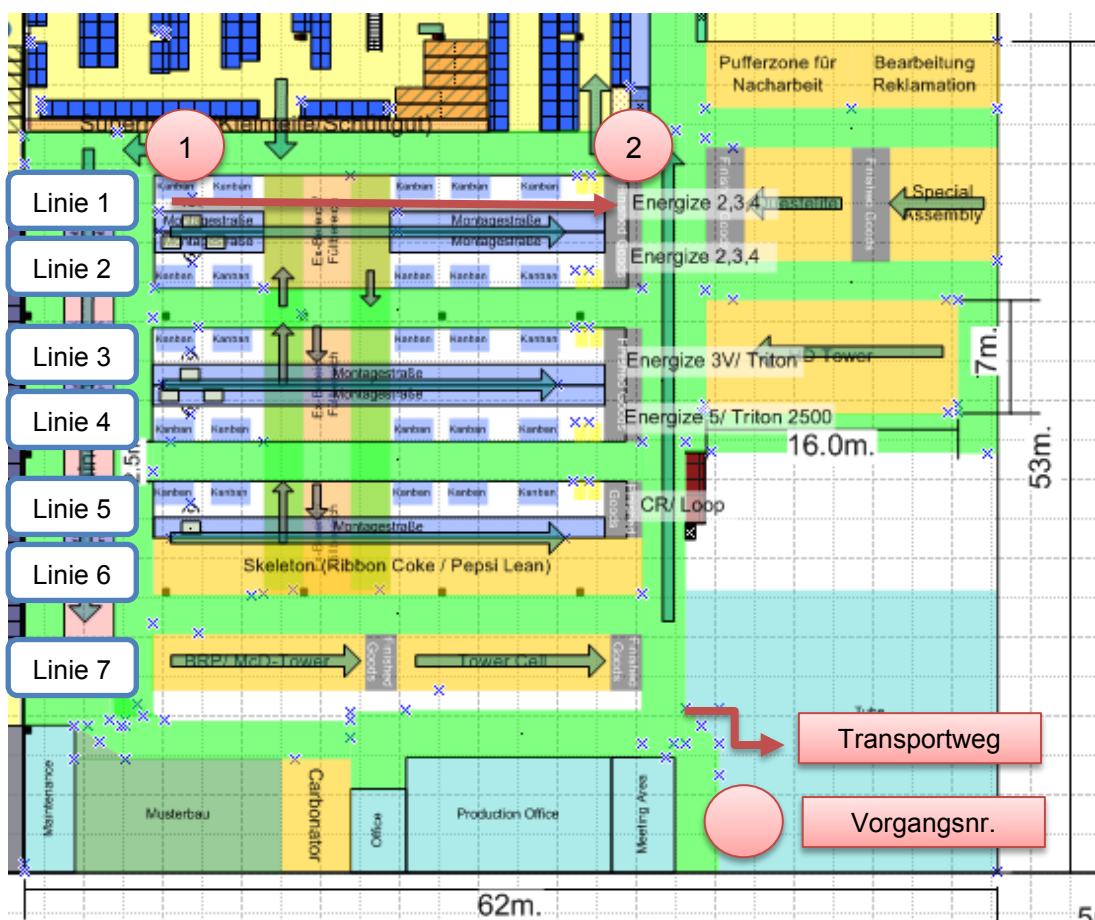
Mit der Umstellung auf In-Line wird das Ziel verfolgt, die Effizienz zu steigern und die Durchlaufzeit zu reduzieren. Dabei wird das Ziel durch die Reduzierung bzw. Eliminierung des Transports und der Zwischenlagerung von Halbfabrikaten unterstützt. Abbildung 11 stellt das neue In-Line Layout dar. Ebenso wie bei der Batchfertigung wird der Fertigungsauftrag mit Freigabe in der Produktion vom Lager kommissioniert.

¹¹⁸ Gorecki, P., Pautsch, P., Lean Management, 2015, S. 157.

¹¹⁹ Vgl. Cornelius Deutschland GmbH, In-Line, 2016, S. 15 f.; Erlach, K., Wertstromdesign, 2010, S. 118-121.

Vom Aufbau des Chassis (Vorgang 1) bis hin zum Testen und Verpacken (Vorgang 2) werden alle Arbeitsschritte hintereinander in Reihe angeordnet, so dass ein Produktionsfluss entsteht.

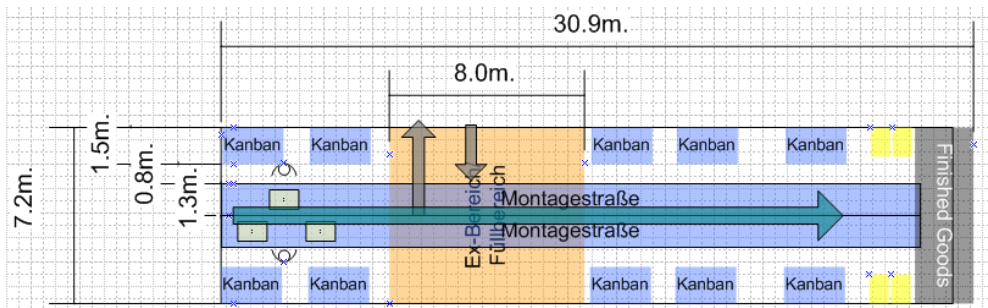
Abbildung 11: Fertigungsprozess mit zukünftigem Fertigungslayout



Quelle: Cornelius Deutschland GmbH, Factory Layout, 2016, S. 5.

Für die Einteilung der Geräte auf die einzelnen Linien bilden Energize 2, 3, 4 die Linie 1 und Linie 2. Die Gerätetypen Energize 2, 3, 4 werden aufgrund ihrer Gemeinsamkeiten im Fertigungsprozess zusammengefasst und durch die hohe Anzahl an gefertigten Geräten im Jahr 2016 auf zwei Linien aufgeteilt. Energize 3V/Triton sind in Linie 3 gebündelt, Linie 4 ist gekennzeichnet durch die Produktion der Geräte Energize 5/Triton 2.500. Linie 5 umfasst CR/Loop Geräte und Linien 6 und 7 enthalten Oberthekensäulen. Die neuen Linien stellen Workcenter dar, die sich auf einen Produkttyp spezialisieren (Abbildung 12). Die Fertigung des Produkttyps und die damit verbundene Qualität liegen in der Verantwortung jeder einzelner Zelle. Unterstützt werden die Fertigung und die Planung des Produktionsablaufs der Linie durch Konzepte wie Kanban, die ein kostengünstiges, automatisiertes und flexibles Workcenter schaffen.¹²⁰

Abbildung 12: Zukünftige In-Line Fertigungslinie



Quelle: Cornelius Deutschland GmbH, Factory Layout, 2016, S. 7.

5.2 Anpassung der DEA-Methodik

Die kontinuierliche Veränderung von DMUs im Laufe der Zeit führt dazu, dass Analysen für einen bestimmten Zeitpunkt gelten und als separate Einheiten zu betrachten sind. Eine ganzheitliche Entwicklung der Effizienz über einen Zeitraum ermöglicht Rückschlüsse auf Veränderungen und die Entwicklung der Qualität. Dieser Ansatz erlaubt eine (globale) Bewertung der Leistung eines Unternehmens über einen gesamten Zeitraum. In der vorliegenden Arbeit wird die DEA

¹²⁰ Vgl. Cornelius Deutschland GmbH, In-Line, 2016, S. 10.

ebenfalls abgeändert.¹²¹ Ein wesentlicher Aspekt dieser Änderung zeigt sich in Form einer Zeitkomponente über mehrere Jahre, die eine Effizienzbetrachtung über einen Zeitraum ermöglicht. Durch diese Änderung lassen sich die Effizienzwerte vor dem Umbau mit den Effizienzwerten nach dem Umbau durch In-Line vergleichen. Aus dem Vergleich können Schlussfolgerungen und Bewertungskriterien abgeleitet werden, wie sich Maßnahmen oder Entscheidungen auf die Effizienz auswirken.

Zusätzlich minimiert diese Änderung das Risiko, keine genaue Effizienzanalyse aufgrund einer nicht ausreichend vorhandenen Anzahl an DMUs zu erhalten. Nach den in Kapitel 4 dargestellten Regeln für die Anzahl der DMUs, ergeben sich für den Anwendungsfall nach Golany und Roll 10 DMUs, nach Bowlin 15 DMUs, nach Dyson et al. 12 DMUs und nach Charnes/Cooper 15 DMUs. Da aktuell die erste Linie umgebaut wird, ergibt sich als DMU eine Zelle, so dass die Anforderungen nicht erfüllt sind. Ein fehlendes Benchmarking führt zu einer unbrauchbaren Effizienzauswertung und zu einer ungenügenden Anzahl an Freiheitsgraden.

Die Schwierigkeit bei der Variablenauswahl und -messung ist in Kapitel 4 beschrieben worden. Durch die flexible Gewichtung der Faktoren werden die Ergebnisse der DEA durch eine Veränderung der Input- und Outputfaktoren beeinflusst. Messfehler innerhalb der Variablen führen zu verfälschten Ergebnissen.¹²²

Die Gesamtfertigung ist in diverse Fertigungslinien und -zellen aufgeteilt, die sich intern in die P01 und P02 für die Vorproduktion der Blech- und Rohrteile, C01-C05 für die Endfertigung und S10 und S20 für die Kleinmontage bzw. den Sonderbau aufteilen. Die Aufteilung und Nummerierung in einzelne Buchstaben und Zahlen dient der besseren Übersicht; so stellt P die Pre-production (Vorproduktion), C die Cells (Fertigungszellen) und S die Specials (Sonderbau) dar. Für die Effizienzmessung werden die Effizienzwerte der Fertigungslinie C03 verglichen. C03 stellt eine Fertigungszelle innerhalb der Gesamtfertigung dar, in der Unterthekengeräte für den Soft-Bereich hergestellt werden. Die Wahl für die Umstellung der ersten Fertigungszelle auf In-Line im März 2017 ist mit Hilfe einer Ana-

¹²¹ Vgl. Cook, W., Seiford, L., DEA Zeitaspekt, 2009, S. 12-14; Petridis, K., Chatzigeorgiou A., Stiakakis, E., S-T DEA, S-T DEA, 2016, S. 1 f.

¹²² Vgl. Allen, K., Möglichkeiten und Grenzen der DEA, 1998, S. 335.

lyse getroffen worden. Dabei wurden die produzierten Geräte aller Fertigungszellen des gesamten Jahres 2016 miteinander verglichen. Die Analyse hat ergeben, dass die Unterthekenkühler der C03 die größte Anzahl darstellen. Die Vorproduktion wird nicht berücksichtigt, da Blech- und Rohrabteilung vorgelagerte Prozesse darstellen, deren Produktion an die Endgeräte angepasst werden muss.

Tabelle 5: Gesamtproduktion Vor- und Endgeräte 2016

Fertigungszelle	P01	P02	C01	C02	C03	C04	C05	S20
Gesamtergebnis	6.037	5.768	288	1	5.189	31	1.162	405

Quelle: Eigene Darstellung.

Für die vorliegende Arbeit werden die nachfolgenden Input- und Outputfaktoren verwendet, um eine Vergleichbarkeit über den kompletten Betrachtungszeitraum zu gewährleisten.

Inputfaktoren:

Mitarbeiter: Die Anzahl der Mitarbeiter spielt für die Effizienzauswertung eine große Rolle. Ein höherer Output bei gleichbleibender Anzahl an Mitarbeitern führt zu einer Steigerung der Effizienz.

Zeit: Zeit als Inputfaktor umfasst die Anwesenheitsstunden der Mitarbeiter. Die Steigerung der Effizienz ist umso höher, je geringer die Anwesenheitsstunden im Vergleich zu den Produktivstunden steigen.

Fläche: Eine optimale Flächengröße der Fertigungslinien führt zu einem Produktionsprozess, bei dem alle Schritte aufeinander abgestimmt sind. Unnötige Laufwege werden vermieden, ebenso wie hohe Kapitalbindung durch Lagerbestände innerhalb der Fertigungslinien.

Outputfaktoren:

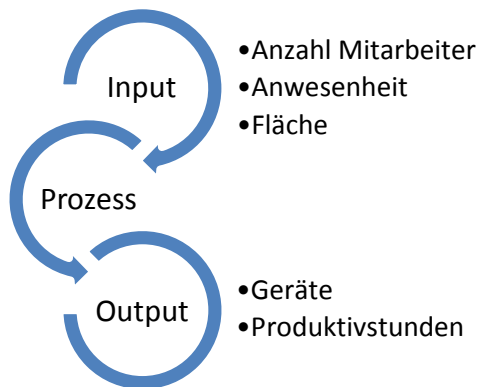
Geräte: Die Anzahl der produzierten Geräte gibt einen ersten Überblick darüber, ob gewisse Konzepte die gewünschten Verbesserungen herbeiführen. Bei gleichbleibenden Bedingungen führt ein erhöhter Output zu einer Effizienzsteigerung.

Zeit:¹²³

Zeit als Outputfaktor umfasst die Produktivstunden. Je höher die Produktivstunden (bei unveränderter Anwesenheit der Mitarbeiter), desto höher ist die Auslastung der jeweiligen Zelle.

Nachdem die Input- und Outputfaktoren festgelegt wurden, kann die Effizienzmessung durchgeführt werden. Abbildung 13 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Input- und Outputfaktoren.

Abbildung 13: Prozessdarstellung der DEA-Effizienzmessung



Quelle: Eigene Darstellung.

Alle Inputfaktoren fließen in einen Prozess – im vorliegenden Praxisbeispiel den Transformationsprozess – und haben somit direkten Einfluss auf den Output. Das Ergebnis ist ein zweifacher Output; neben der Geräteanzahl (Output Geräte) werden auch die Produktivstunden (Output Zeit) ausgegeben.

¹²³ Produktivstunden oder auch Lagereingangsstunden sind Stunden, die der Produktion bei der Rückmeldung der Fertigungsaufträge gutgeschrieben werden.

5.3 Datenherkunft und Datenqualität

Neben der Auswahl der Input- und Outputfaktoren stellen die Art der verwendeten Quellen und die Datenqualität wichtige Voraussetzungen für systematisches und objektives wissenschaftliches Arbeiten dar.

In der vorliegenden Arbeit werden für die Praxisanwendung und insbesondere für die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse Primär- und Sekundärquellen verwendet.¹²⁴ Als Primärquelle wird eine eigenständige Durchführung der Durchlaufzeit verwendet. Die Messung der Durchlaufzeit beginnt mit dem ersten Arbeitsschritt des Aufbaus des Chassis und endet mit dem Verpacken und Rückmelden des Gerätes. Um eine Vergleichbarkeit zu erhalten, wird die Durchlaufzeit unter gleichbleibenden Bedingungen durchgeführt. Für die Praxisanwendung und die Zeitaufnahme bedeutet dies, dass ein Gerät des gleichen Gerätetyps verwendet wird und die Messung der Durchlaufzeit unter gleichen Standards bzw. Bedingungen erfolgt. Für die geforderten Standards bzw. Bedingungen wird die Zeitaufnahme nach REFA-Standards durchgeführt. Nach REFA bestehen Zeitaufnahmen „in der Beschreibung des Arbeitssystems, im Besonderen des Arbeitsverfahrens, der Arbeitsmethode und der Arbeitsbedingungen, und in der Erfassung der Bezugsmengen, der Einflussgrößen, der Leistungsgrade und Ist-Zeiten für einzelne Ablaufabschnitte; deren Auswertung ergeben Soll-Zeiten für bestimmte Ablaufabschnitte.“¹²⁵ Durch die Vergleichbarkeit der Zeitaufnahmen können Rückschlüsse auf mögliche Effizienzveränderungen abgeleitet werden. Grundrisse des kompletten Unternehmens, speziell der Fertigung, bieten die Möglichkeit der Flächenberechnung für einzelne Zellen und stellen somit für die Effizienzberechnung einen Inputfaktor ab.¹²⁶ Die für die Berechnung der Effizienzwerte notwendigen Daten werden aus dem ERP-System gewonnen. Die sekundären Daten werden aufbereitet und verarbeitet, um diese entsprechend verwenden zu können. Das ERP-System erfüllt dabei alle notwendigen Anforderungen an die weitere Verwendung der Daten. Diese umfassen neben der Belegbarkeit aller Buchungen auch die Sicherheit der Verarbeitung, Vollständigkeit der Buchungen, Richtigkeit, Klarheit, Zeitgerechtigkeit und Prüfbarkeit.¹²⁷ Tabelle 6

¹²⁴ Die mit REFA ermittelte Zeit wird auch Vorgabezeit genannt.

¹²⁵ REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V., Zeitaufnahme, 1992, S. 81.

¹²⁶ Die Veröffentlichung der Grundrisse ist an dieser Stelle durch die Cornelius Deutschland GmbH nicht gestattet.

¹²⁷ Vgl. Abts, D., Müller, W., ERP-System, 2017, S. 658.

listet einige Vor- und Nachteile bei der Verwendung von Primär- und Sekundärquelle auf.

Tabelle 6: Vor- und Nachteile von Primär- und Sekundärquellen

	Primärquelle	Sekundärquelle
Vorteile	Exklusive Daten	Ausreichend für viele Routinearbeiten
	Hohe Qualität der Daten	Einfache, günstige Erhebung
	Hohe Aktualität	Schnellere Datenlieferung an Entscheidungsträger
		Liefert erste Lösungsansätze
		Großer Datenpool vorhanden
		Ständiger technischer Fortschritt verbessert Sekundärforschung immens
Nachteile	Kostenaufwändig	Keine Exklusivität der Daten
	Zeitaufwändig	Schwierige Datenauswertung
		Meist unvollständig für Problemlösung
		Können veraltet sein

Quelle: In Anlehnung an Pfaff, D., Primär-/Sekundärquellen, 2005, S. 60.

Grundsätzlich hängt die Verwendung der Quellen von dem Anwendungsfall ab. Sekundärquellen sind für jedes andere Unternehmen frei zugänglich, mögliche Wettbewerbsvorteile lassen sich nicht realisieren. Primärquellen ermöglichen ein Alleinstellungsmerkmal und geben durch die Erhebung im eigenen Unternehmen Prozesse entsprechend genau wieder.¹²⁸

Ein wichtiges Beurteilungskriterium für die Verwendbarkeit der Daten stellt die Datenqualität dar. Die Beurteilung der Datenqualität kann durchgeführt werden, indem Anforderungen oder Bewertungskriterien formuliert werden und die Erfüllung systematisch überprüft und nachgewiesen wird. Somit bezeichnet Datenqualität „den Erfüllungsgrad der Anforderungen an die für einen bestimmten

¹²⁸ Vgl. Pfaff, D., Primär-/Sekundärquellen, 2005, S. 60.

Zweck benötigten Daten.“¹²⁹ Für die Bewertung der Datenqualität werden die in Tabelle 7 genannten Kriterien Art, Inhalt, Bedeutung und Herkunft überprüft.

Tabelle 7: Bewertungskriterien für die Datenqualität

Art	Inhalt	Bedeutung	Herkunft
Eignung	Korrektheit	Aktualität	Verfügbarkeit
Relevanz	Vollständigkeit	Verständlichkeit	Zugänglichkeit
	Objektivität		Rückverfolgbarkeit

Quelle: In Anlehnung an Krebs, P., **Bewertungskriterien**, 2012, S. 111.

Kriterium Art prüft, wie relevant die Daten sind und wie geeignet die Abbildbarkeit auf den Praxisfall ist. Inhalt bezieht die Datengüte mit ein, unabhängig von dem Datengehalt. Aktualität und Verständlichkeit lassen Rückschlüsse auf die Bedeutung zu. Die Herkunft ermöglicht eine Vertrauensbildung bezogen auf die verwendeten Daten.¹³⁰ Daneben gibt es in der Literatur noch andere Ansätze zur Bewertung der Datenqualität:¹³¹

- Konsolidierung aller Auftrags-, Bestands-, Mitarbeiter- und Produktionsdaten in einer gemeinsam integrierten Datenbank
- Verknüpfung der Daten und Sicherstellung einer zentralen Stammdatenpflege
- Versorgung aller nachgelagerter Prozesse mit Daten aus einer Datenbank zur Sicherstellung einer einheitlichen Datenverwendung

Die aus dem ERP-System gewonnenen Daten erfüllen einen Großteil der inhaltlichen Kriterien. Eignung und Relevanz lassen sich auf die Praxisanwendung abbilden, Aktualität und Verständlichkeit werden durch Eingrenzungen innerhalb der Suche gewährleistet und die Konsolidierung der Daten ermöglicht neben einer zentralen Datenbank auch die Versorgung mit Daten aller nachgelagerter Prozesse. Durch die Verwendung einer sekundären Datenbasis liegen die Daten nicht in Originalform vor, was zu einer fehlerhaften Zuordnung von Kriterien (z.

¹²⁹ Morbey, G., Datenqualität, 2011, S. 16.

¹³⁰ Vgl. Krebs, P., Bewertungskriterien, 2012, S. 110-111.

¹³¹ Vgl. Schmidtmann, D., Datenqualität, 1981, S. 2.

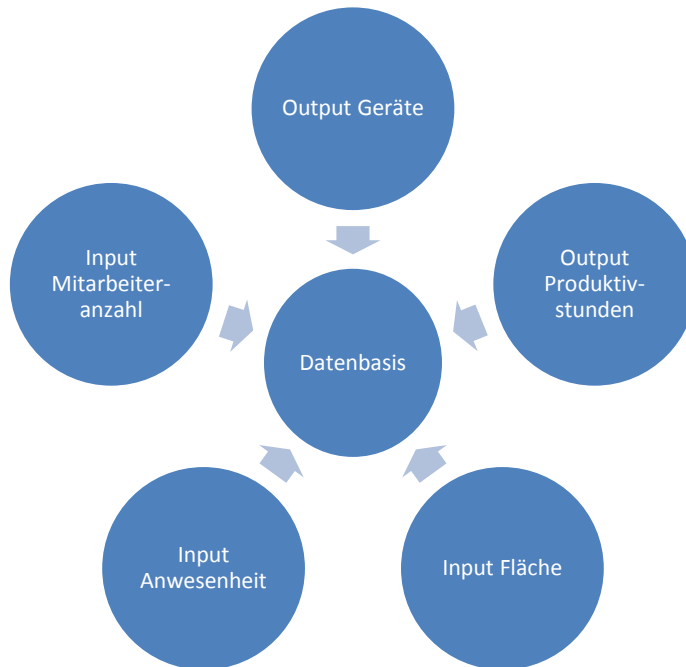
B. Kostenstelle) und bei der weiteren Aufbereitung zu Fehlern führen kann. Da keine monetären Variablen verwendet werden, ist eine Bereinigung der Daten um Inflation oder Zinssatz für den Anwendungsfall nicht notwendig. Eine Überprüfung der Buchungskontrollen oder fehlerhaften Daten in Form von Ausreißern und die Zuordnung der Mitarbeiter zu den Kostenstellen führen dazu, dass die Datenbasis auf Plausibilität überprüft wird und Fehler bereinigt werden können.¹³²

5.4 Darstellung und Diskussion der Ergebnisse

Die Datenbasis für die Effizienzmessung ist eine Zusammenführung einzelner Tabellen und Daten. Die Flächenberechnung erfolgt mit Hilfe vorhandener Grundrisse. Eine Effizienzmessung ist mit der Einführung eines neuen ERP-Systems rückwirkend ab Januar 2010 möglich, da durch die Umstellung kein Zugriff auf die alten Daten mehr möglich ist. Abbildung 14 veranschaulicht den Aufbau der Datenbasis und den Zusammenhang der einzelnen Daten.¹³³

¹³² Vgl. Goebel, H., Datenqualität, 2006, S. 208 f.

¹³³ Die interne Berechnung der Effizienz ergibt sich aus dem Quotienten der Mitarbeiterstunden (Anwesenheit) und den rückgemeldeten (produktiven) Lagereingangsstunden.

Abbildung 14: Zusammenführung der Datentabellen zur Datenbasis

Quelle: Eigene Darstellung.

Die Datentabelle `Direkte_Produktivstunden_ab_01.2010` beinhaltet die aus der Personalabteilung mittels dem ERP-System erhaltenen Daten zur Anzahl und zur Anwesenheit der Mitarbeiter pro Tag und die Zuordnung der Mitarbeiter zu den Kostenstellen innerhalb der Gesamtfertigung. Kostenstellen entsprechen einzelnen Fertigungslinien bzw. -zellen, so dass eine klare Zuweisung erfolgt. Die Anwesenheit der Mitarbeiter wird in Stunden angegeben, so dass sich Anwesenheiten pro Kostenstelle zusammenfassen lassen. Diese können zusätzlich pro Woche, pro Monat und pro Jahr zusammengeführt werden. Der Vorteil liegt in der Darstellung der Ergebnisse. Durch die tagesgenaue Aufteilung können Effizienzwerte je nach Bedarf auf bestimmte Betrachtungszeiträume angepasst werden. Veränderungen und Trends können langfristig abgeleitet werden. Die Originaldatei wurde durch eine Pivottabelle ergänzt, um die Anwesenheit pro Monat und

pro Kostenstelle zu erhalten. Mit der Anwesenheit pro Monat ist die Mitarbeiteranzahl berechnet worden, indem diese durch die Arbeitszeit pro Monat geteilt wurde.¹³⁴

Der Output, sowohl die Anzahl der gefertigten Geräte als auch die Lagereingangsstunden, wird ebenfalls mittels des ERP-Systems gewonnen. Die Daten können über die Fertigungsaufträge den verschiedenen Fertigungslinien und -zellen zugewiesen werden. Dies ermöglicht wie beim Input eine Darstellung über bestimmte Betrachtungszeiträume. Die Datei `Production_By_Cell_2010_2017_Mai` umfasst alle gefertigten Geräte über einen Zeitraum von Januar 2010 bis Mai 2017. Über eine Verknüpfung der Originaldatei mit der Datei `Time_Per_Work_Center` ist für jedes gefertigte Gerät die Zeit hinterlegt worden. Eine Multiplikation mit dem Fertigungsauftrag fasst die Zeiten pro Tag zusammen. Eine Umrechnung in Stunden vereinfacht einen Vergleich, da die Anwesenheit in Stunden vorliegt. Über eine Pivottabelle können pro Kostenstelle alle Geräte und Stunden pro Monat ausgegeben werden.

Die Flächenberechnung fließt als ein weiterer Inputfaktor in die Effizienzberechnung ein, da in den vergangenen Jahren unterschiedliche strategische Konzepte unter anderem einen Einfluss auf die Fläche der Fertigungslinien und -zellen hatten. Die Reduzierung der Fläche ist ein Ziel des In-Lines, so dass überprüft wird, ob die Reduzierung einen Einfluss auf die Effizienz hat.

Zur Durchführung der Messung wird die Optimierungsart ausgewählt und die Einteilung der Variablen in Input und Output getroffen. Für die Optimierungsart stehen zwei Arten zur Auswahl: Minimierung des Inputs oder Maximierung des Outputs. Bei der Minimierung des Inputs wird die Produktionsfunktion abgeleitet, bei der die Inputfaktoren minimiert werden, um den gleichen Output zu erzeugen. Bei der Maximierung des Outputs wird die Produktionsfunktion abgeleitet, bei der unter gleichbleibendem Input der Output maximiert wird. Der Skalierungsmodus ermöglicht die Auswahl zwischen konstanten und variablen Skalenerträgen. Konstante Skalenerträge berücksichtigen die Tatsache, dass Outputs in einem festen Zusammenhang mit Inputs stehen, d.h. eine Erhöhung des Inputs um den Faktor

¹³⁴ Aus datenschutzrechtlichen Gründen sind Personalnummern und Namen unkenntlich gemacht worden. Die Fertigungslinie C03 entsprach der Kostenstelle 7230. Der Kostenstellenwechsel in die 10207230 ist mit der Segmentierung in einzelne BUs zu Beginn des Jahres 2015 zu erklären. Die 10 bezeichnet die Cornelius Deutschland GmbH insgesamt und die 20 steht für die BU Soft.

1 erhöht auch den Output um den Faktor 1. Variable Skalenerträge sorgen dafür, dass der Output bei steigendem Input nicht proportional ansteigt. So sorgt z.B. eine Verdopplung des Inputs für einen geringeren Anstieg des Outputs. Die Verwendung konstanter Skalenerträge in der Realität führt dazu, dass „beispielsweise eine Ausweitung des Geschäfts nicht zu Synergien führt oder, allgemein gesprochen, die Betriebsgröße nicht die Produktivität der Einsatzfaktoren beeinflusst.“¹³⁵ Somit finden konstante Skalenerträge eher im Dienstleistungssektor Anwendung als in der produzierenden Industrie.¹³⁶ Im Anwendungsfall werden die Maximierung des Outputs und der Skalierungsmodus mit variablen Skalenerträgen ausgewählt. Für die Effizienzbetrachtung der Fertigungszelle C03 ergeben sich über einen Zeitraum von Januar 2010 bis Mai 2017 die in Tabelle 8 errechneten Effizienzwerte. Zur besseren Übersicht und Interpretation der Ergebnisse werden die einzelnen Messwerte der C03 über die Monate als Liniendiagramm über einen Zeitraum von Januar 2010 – Mai 2017 dargestellt (Abbildung 15). Die Darstellung erfolgt auf Monatsbasis, da mit Hilfe dieser Detailansicht jede Änderung rückwirkend betrachtet werden kann. Eine Quartals- oder Jahresbetrachtung würde über die Bildung von Mittelwerten einen ähnlichen Kurvenverlauf aufweisen, negative oder positive Änderungen der Effizienz würden geglättet werden.

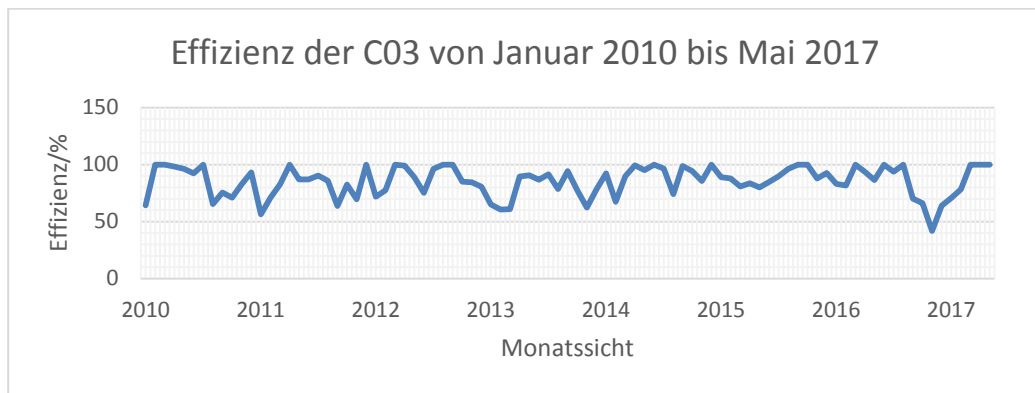
¹³⁵ Kerpen, P., Praxisorientierte DEA, 2016, S. 49.

¹³⁶ Vgl. Kerpen, P., Praxisorientierte DEA, 2016, S. 49.

Tabelle 8: Auswertung der Effizienzmessung der C03

Mo- nat	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	64	57	72	65	92	89	83	71
2	100	71	78	61	67	88	82	78
3	100	83	100	61	90	81	100	100
4	98	100	99	90	100	84	94	100
5	96	87	89	91	95	80	87	100
6	92	87	75	87	100	85	100	
7	100	90	96	92	97	90	94	
8	66	86	100	79	74	96	100	
9	75	64	100	94	99	100	70	
10	71	82	85	78	94	100	66	
11	83	70	84	62	86	88	42	
12	93	100	81	78	100	93	64	

Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 15: Effizienzbetrachtung der C03 von Januar 2010 bis Mai 2017

Quelle: Eigene Darstellung.

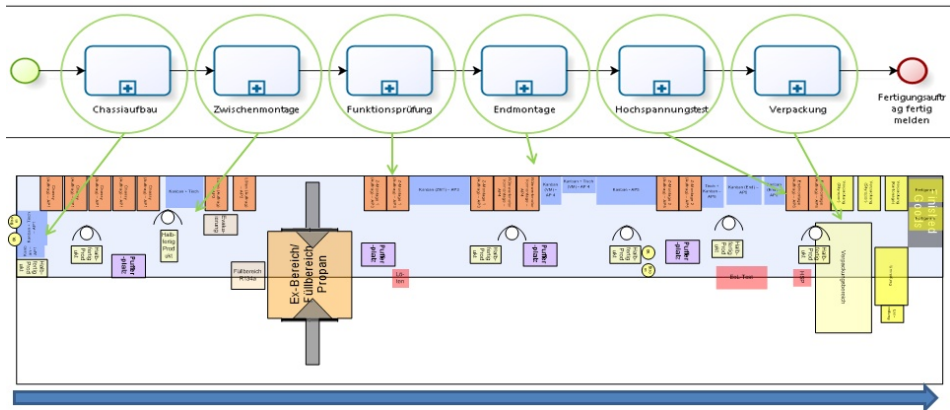
Auffällig ist die schwankende Effizienz der C03, die sich bis auf eine Ausnahme Ende 2016 im oberen Drittel befindet und Werte zwischen 66 % und 100% aufweist. Die einzelnen Jahre weisen einen ähnlichen Verlauf auf. Während zu Beginn eines Jahres die Effizienz steigt und ihren Höhepunkt Mitte des Jahres erreicht, sinkt sie zum Ende des Jahres wieder ab. Dies lässt auf saisonale Schwankungen der Auftragslage und somit der Produktion schließen. Kennzeichnend für die Zelle ist die zu Beginn der Effizienzmessung große Variantenanzahl der Geräte. Eine hohe Variantenanzahl in Kombination mit einer geringen Losgröße führt zu Effizienzverlusten. Der erste Umbau der C03 zu Beginn 2011 führte zu dem niedrigen Wert von 57 %. Ein Vergleich der durchschnittlichen Effizienz pro Jahr zeigt, dass das Jahr 2013 mit einer Effizienz von 78 % an letzter Stelle steht. Grund hierfür ist der eingeführte Kaizen Workshop von März bis Oktober 2013, der zu diversen Umbaumaßnahmen und Anpassungen der C03 führte. Nach dem Umbau konnten die Schwankungen ab 2014 minimiert werden, so dass die Effizienz in einem Wertebereich zwischen 75 % und 100 % lag. Eine Ausnahme stellte der Sommer 2014 dar, in dem der bis dahin letzte Umbau stattfand. Ende 2016 erreichte die Effizienz einen Tiefpunkt von 42 %. Ein Vergleich der Anwesenheit mit den Produktivstunden zeigt, dass die Anzahl der Mitarbeiter entsprechend der Auftragslage zu hoch war. Gründe können sein, dass einige Mitarbeiter nicht produktiv beschäftigt waren, z.B. mit Nacharbeit oder durch die entsprechend niedrige Auftragslage kein temporär beschäftigtes Personal freigesetzt wurde. Außerdem konnten einige größere Aufträge aufgrund Fehlteilen nicht komplett gefertigt werden. Die Reduzierung des Personals zu Beginn 2017 verbesserte die Effizienz, zeitgleich erfolgte der Umbau der Linie auf In-Line. Auffällig ist, dass mit Start der neuen Linie im März 2017 die Effizienz 100 % beträgt und diesen Wert für April und Mai beibehält. Im Vergleich zu den Vormonaten zeigt sich, dass ein stabiler, prozessorientierter Fertigungsfluss erzielt wurde, da Schwankungen nicht mehr auftreten.

Auch wenn der Trend positiv ist und zeigt, dass durch die Umstellung auf In-Line Effizienzsteigerungen erzielt wurden, können allgemein gültige Aussagen zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht getroffen werden.

Die Messung der Durchlaufzeit innerhalb der neuen Fertigungslinie ermöglicht einen Vergleich zwischen der Durchlaufzeit des vorherigen Produktionskonzepts und In-Line. Außerdem stellt sie eine Entscheidungsbasis zur Überprüfung der Reduzierung der Durchlaufzeit dar. Abbildung 16 grenzt die Durchlaufzeit ab, um aus prozessorientierter Sicht die gleichen Rahmenbedingungen zu schaffen.

Dies gewährleistet, dass sowohl vorher als auch nachher der gleiche Fertigungsprozess betrachtet wird, um fehlerhafte Rückschlüsse zu vermeiden. Der Fertigungsprozess beginnt mit dem Aufbau des Chassis und endet mit dem Verpacken des fertigen Geräts.

Abbildung 16: Fertigungsprozess zur Messung der Durchlaufzeit



Quelle: Cornelius Deutschland GmbH, Factory Layout, 2016, S. 8.

Die Messung der Durchlaufzeit nach REFA umfasst zwei Elemente:

Während mit einer Stoppuhr die Zeit pro Bearbeitungsvorgang gemessen wird, regelt die Beurteilung der Leistung des beobachteten Werkers die Intensität und Wirksamkeit der Bewegung. Die Leistungsgradbeurteilung stellt somit ein Verhältnis effektiv erbrachter menschlicher Leistung zur Normalleistung dar. Normalleistung bezeichnet den Arbeitseinsatz, der „von jedem geeigneten Arbeiter auf die Dauer ohne Schädigung seiner Gesundheit erwarten kann.“¹³⁷ Entspricht der Leistungsgrad der Normalleistung wird dieser mit 100 % in die Berechnung angegeben. Je nach Leistung kann dieser Wert im Vergleich zur Normalleistung geringer (z.B. 90 %) oder höher (z.B. 105 %) sein. Die Leistung des beobachteten Werkers wird mit der Normalleistung in Relation gesetzt, so dass die gemessene Zeit auf die Normalleistung von 100 % umgerechnet wird. Die ermittelte Zeit gilt

¹³⁷ Wiedemann, H., REFA-Zeitmessung, 1974, S. 28.

nicht nur für den beobachteten Werker, sondern für jeden Werker, der diese Arbeit in Zukunft durchführt.¹³⁸

Tabelle 9 zeigt die Durchführung der Zeitermittlung für die erste Station des Fertigungsprozesses.

Tabelle 9: Zeitmessung und Leistungsgrad für den ersten Arbeitsplatz

Durchlaufzeit IB 4 221001417						
Ablaufabschnitt	Einzelzeiten (Min)			Durchschnitt (Min)	Leistungsgrad (%)	Zeit (Min)
Chassis						
Bodenblech komplett vorbereiten	6,03	5,39	5,63	5,68	85	4,83
Wasserbad komplett vorbereiten	9,13	8,25	8,54	8,64	85	7,34
Zwischenwand komplett	2,11	1,07	1,37	1,52	85	1,29
Mantelblech WB komplett vorbereiten	4,00	4,16	4,00	4,05	85	3,45
Mantelblech WB montieren	3,14	3,6	3,74	3,49	85	2,97
Gaskühlerbefestigung montieren	2,17	2,75	2,3	2,41	85	2,05
Kompressor montieren	3,12	2,74	3,65	3,17	85	2,69
Gaskühler montieren	2,47	2,57	2,86	2,63	85	2,24
Summe	32,17	30,53	32,09	31,60		26,86

Quelle: Eigene Messung der Vorgabezeit.

¹³⁸ Vgl. Cornelius Deutschland GmbH, Vorgabezeit, 2016, S. 2; Wiedemann, H., REFA-Zeitmessung, 1974, S. 27-29.

Zur Reduzierung möglicher Fehler ist ein Fertigungsauftrag über drei Geräte gemessen worden. Gleichzeitig legt der Fertigungsauftrag die Anzahl der Stichproben fest. In einem ersten Schritt wird die benötigte Zeit des Mitarbeiters in Sekunden aufgenommen. Die Umrechnung in Minuten erfolgt entsprechend für jeden Arbeitsschritt. Aus den drei gemessenen Zeiten wird ein arithmetisches Mittel gebildet, um so eine durchschnittliche Zeit zu erhalten. Durch diese Methode werden Ausreißer minimiert.¹³⁹ Der Leistungsgrad wird mit 85 % bewertet. Dies bedeutet, dass die bewertete Leistung von der zu erwartenden Normalleistung negativ abweicht. Eine Umrechnung auf die Normalleistung gibt den Wert wieder, der für die Betrachtung der Durchlaufzeit zukünftig zu verwenden ist. Die Summe aller einzelnen Arbeitsschritte gibt die gesamte Durchlaufzeit für die erste Station des Fertigungsprozesses wieder. Analog zur Ermittlung der Durchlaufzeit für die erste Station erfolgt die Berechnung für alle weiteren Stationen.

Tabelle 10 listet zusammenfassend alle einzelnen Arbeitsschritte des Fertigungsprozesses auf. Auffällig ist, dass für die Arbeitsschritte unterschiedliche Leistungsgrade verwendet wurden. Grund hierfür ist, dass für die Arbeitsschritte verschiedene Mitarbeiter bewertet wurden. Während in der ersten Station ein neuer Mitarbeiter für den Aufbau der Chassis verantwortlich ist, ist der Lötter im zweiten Arbeitsschritt ein erfahrener Mitarbeiter, der jedes Gerät kennt und sich über die Jahre Kenntnisse über mögliche Schwachstellen innerhalb des Lötvorgangs aneignen konnte. Die Umrechnung auf die Normalleistung ermöglicht eine mitarbeiterunabhängige Ermittlung der Durchlaufzeit.

¹³⁹ Zur optimalen Ermittlung der durchschnittlichen Zeit ist eine höhere Anzahl an Stichproben nötig, da mit zunehmender Anzahl an Messungen mögliche Ausreißer minimiert werden. Dies erhöht die Repräsentativität und verringert die Stichprobenfehler der Praxisanwendung. Da eine höhere Anzahl an Stichproben mit Kosten und Zeitaufwänden verbunden ist, sind im Vorfeld drei Stichproben für die Praxisanwendung als ausreichend bewertet worden.

Tabelle 10: Zusammenfassung REFA-Messung für IB 4¹⁴⁰

Durchlaufzeit IB 4 221001417						
Ablaufabschnitt	Einzelzeiten (Min)			Durchschnitt (Min)	Leistungsgrad (%)	Zeit (Min)
Chassis	32,17	30,53	32,09	31,60	85	26,86
Löten	35,77	31,86	31,69	33,11	110	36,42
Zwischenmontage/Elektrische Montage	125,96	128,83	124,44	126,41	90	113,77
Endmontage	22,12	23,83	27,58	24,51	90	22,06
Summe	216,02	215,05	215,80	215,62		199,10

Quelle: Eigene Messung.

Ein Vergleich der neuen Durchlaufzeit von 199 Minuten mit der vorherigen von 240 Minuten zeigt, dass die Durchlaufzeit mit In-Line um 17,08% reduziert wurde.

Sowohl die Ziele des In-Lines als auch die Erfahrungen in den praktischen Umsetzungsmöglichkeiten können bestätigt werden. Aus der Reduzierung der Durchlaufzeit lassen sich keine pauschalen Aussagen für weitere Fertigungslinien ableiten. Diese können intern von Fertigungslinie zu Fertigungslinie und extern von Unternehmen zu Unternehmen unterschiedlich sein. Zum einen ist die Datenbasis für weitere Geräte noch nicht vorhanden, zum anderen haben diverse Faktoren wie Anzahl der Varianten innerhalb eines Gerätetyps oder unterschiedliche Arbeitsschritte innerhalb des Fertigungsprozesses, die nicht miteinander vergleichbar sind, einen Einfluss. Nachfolgend eine Zusammenfassung der direkten Verbesserungen:

- Erhöhung der durchschnittlichen Effizienz um zehn Prozentpunkte von 82% im Jahre 2016 auf 92% im Jahre 2017 (Stand Ende Mai)
- Reduzierung der Durchlaufzeit um 17,08% auf 199 Minuten
- Reduzierung der Fläche um 34,71% auf 222 m²

¹⁴⁰ Die detaillierte REFA-Messung ist im Anhang 1 zu finden.

Neben den direkten Verbesserungen lassen sich durch die Umstellung der Produktion und insbesondere der ersten Linie auch indirekte Verbesserungen ableiten:¹⁴¹

- Flexibilität innerhalb der Linie durch minimales Rüsten
- Reduzierung der Variantenvielfalt durch PLS
- Prozessverbesserung führt zu einer verbesserten Kommunikation zwischen allen Abteilungen, insbesondere Produktion und Vertrieb
- Glättung des Produktionsplans sorgt für eine bessere Kapazitätsauslastung
- Erhöhtes Bewusstsein der Mitarbeiter für Probleme
- Ideenentwicklung durch kontinuierlichen Verbesserungsprozess

Für den Aufbau und die Gestaltung der weiteren Linien können Fehler und Störungen durch Lerneffekte minimiert oder reduziert werden. Folgende Lerneffekte können durch die Umstellung der C03 festgehalten werden:

- Anpassung der Kanbanregale für weitere Linien
- Fertigung von Baugruppen
- Definition der Arbeitsabläufe
- Menschengerechte Arbeitsgestaltung
- Vorausschauender Arbeitsschutz
- Ganzheitlichen Gefährdungsbeurteilung

Dies führt zukünftig bei der Umstellung weiterer Fertigungslinien auf In-Line zu Zeitersparnissen und Kosteneinsparungen.

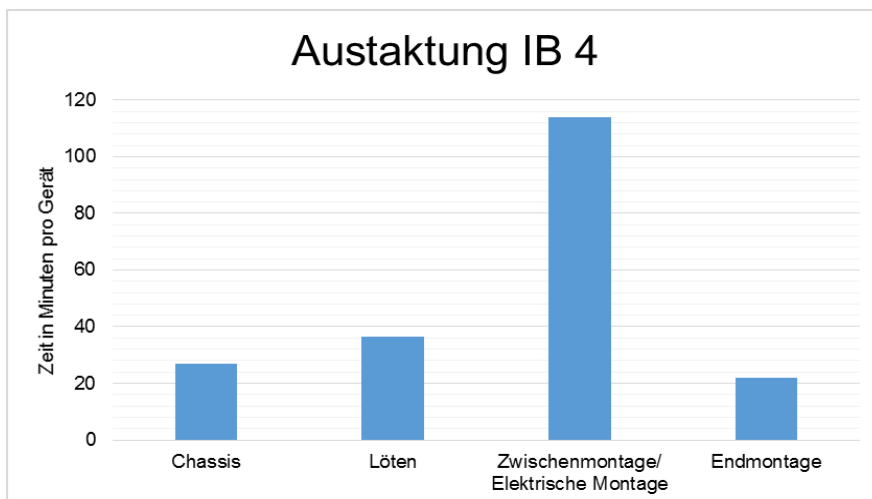
5.5 Handlungsempfehlung

Die Messung der Durchlaufzeit ermöglicht nicht nur einen Vergleich mit vorherigen Produktionskonzepten, sondern auch eine optimale Kapazitätsauslastung der neuen Fertigungslinie. Je nach Auftragslage kann über die Anzahl der Mitarbeiter ein Kapazitätsplan entwickelt werden, der zu jeder Zeit eine optimale Auslastung gewährleistet. Um das In-Line Konzept zu unterstützen und eine prozessorientierte Ausrichtung der Fertigungslinie zu erreichen, müssen die einzelnen Arbeitsschritte auf die maximale Anzahl möglicher Arbeitsplätze ausgerichtet

¹⁴¹ Vgl. Reschke, D., Michel, R., Effizienzsteigerung, 2000, S. 183.

werden, um Leerlaufzeiten oder Pufferbestände innerhalb der Linie zu vermeiden. Für die Definition der einzelnen Arbeitsplätze dient Tabelle 10 als Basis. Ein Vergleich der einzelnen Durchlaufzeiten für die aktuell vier vorhandenen Arbeitsplätze zeigt, dass diese durch unterschiedliche Durchlaufzeiten stark voneinander abweichen. Abbildung 17 verdeutlicht die unterschiedlichen Durchlaufzeiten der einzelnen Arbeitsplätze, die für ein Gerät benötigt werden und zeigt, dass eine Austaktung der einzelnen Arbeitsplätze nicht vorhanden ist.

Abbildung 17: Ursprüngliche Austaktung IB 4

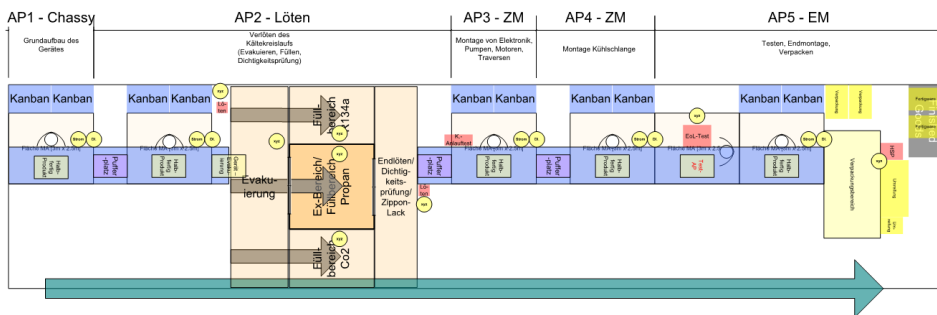


Quelle: Eigene Darstellung.

Da vorgelagerte Arbeitsplätze eine geringere Durchlaufzeit aufweisen, kommt es zu Pufferbeständen bzw. zu Leerlaufzeiten bei nachgelagerten Arbeitsplätzen. Ein weiterer Punkt, der bei näherer Betrachtung der Durchlaufzeit auffällt, sind die verschiedenen Baugruppen, die innerhalb der Linie vormontiert und eingebaut werden. Durch eine unterschiedliche Aufteilung der Baugruppen auf die Arbeitsplätze entsteht kein kontinuierlicher Fluss. Für die Anpassung der Durchlaufzeit und der Austaktung, werden die Arbeitsplätze in der Fertigungslinie auf eine minimal und eine maximal mögliche Anzahl ausgelegt. Zunächst wird der Arbeitsplatz Zwischenmontage/Elektrische Montage aufgrund seiner langen Durchlauf-

zeit auf zwei Arbeitsplätze verteilt. Zusätzlich wird die Vormontage der Baugruppen neu definiert, um über alle Arbeitsplätze eine gleichbleibende Durchlaufzeit zu gewährleisten. Abbildung 18 zeigt die Aufteilung der Arbeitsplätze für einen optimalen Fluss in der Fertigung.

Abbildung 18: Aufteilung der Fertigungslinie für einen optimalen Fertigungsfluss



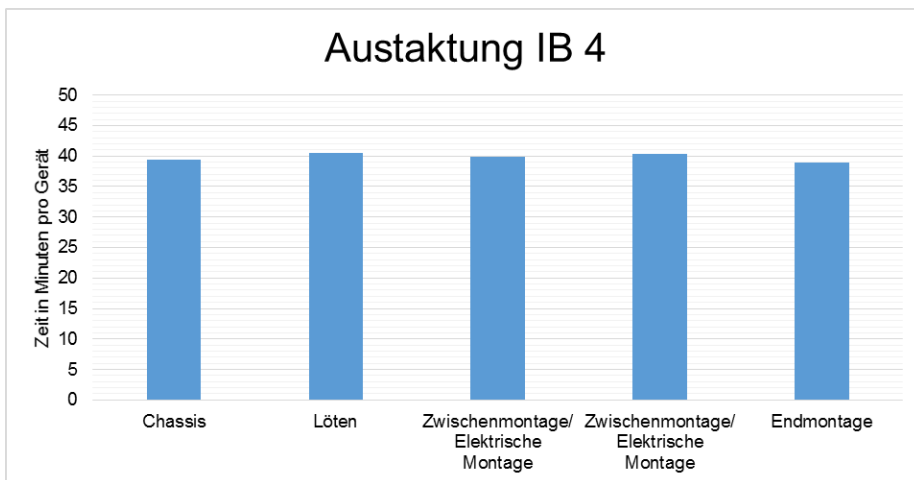
Quelle: Eigene Darstellung.

Es wird deutlich, dass durch diese Maßnahme ein kontinuierlicher Fertigungsfluss und eine optimale Auslastung der Fertigungslinie erreicht werden. Alle Arbeitsplätze sind aufeinander abgestimmt, es entstehen zwischen den Arbeitsplätzen keine Pufferbestände und Leerlaufzeiten werden auf ein Minimum reduziert. Durch diese Maßnahme kann erreicht werden, dass ein Gerät alle 40 Minuten hergestellt werden kann (Tabelle 11 und Abbildung 19).

Tabelle 11: Durchlaufzeit IB 4 für 5 Mitarbeiter

Durchlaufzeit IB 4 221001417 für 5 Mitarbeiter						
Ablaufabschnitt	Einzelzeiten (Min)			Durchschnitt (Min)	Leistungsgrad (%)	Zeit (Min)
Chassis	48,11	42,84	45,44	45,46		39,34
Löten	40,09	36,72	36,28	37,70		40,55
Zwischenmontage/ Elektrische Montage	40,80	45,40	46,95	44,38		39,95
Zwischenmontage/ Elektrische Montage	46,11	47,22	41,33	44,89		40,40
Endmontage	40,91	42,87	45,80	43,19		38,87
Summe	216,02	215,05	215,80	215,62		199,10

Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 19: Neue Austaktung der Durchlaufzeit für 5 Mitarbeiter

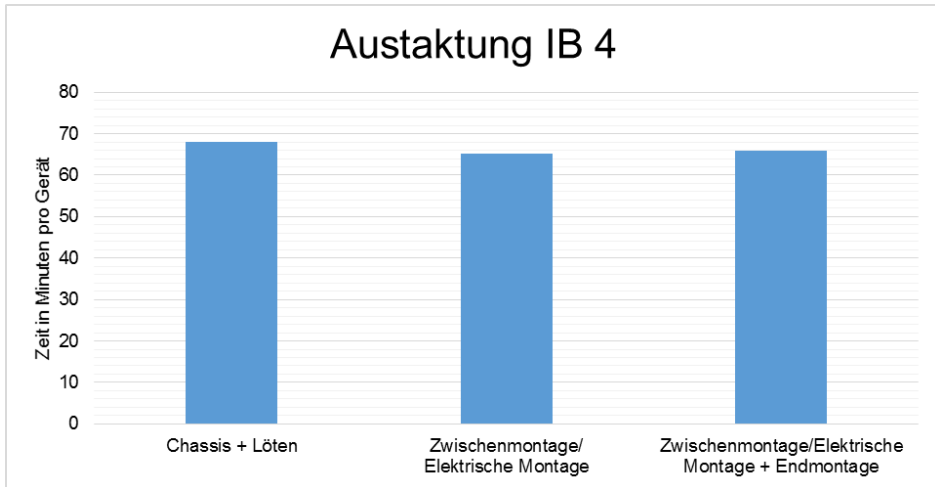
Quelle: Eigene Darstellung.

Durch das Zusammenführen von Arbeitsplätzen kann eine minimale Kapazität von drei Arbeitsplätzen bzw. drei Mitarbeitern erzielt werden. Auch durch diese Maßnahmen werden keine Pufferbestände erzeugt und Leerlaufzeiten reduziert. Im Unterschied zu fünf Mitarbeitern, erhöht sich die Durchlaufzeit pro Arbeitsplatz auf ungefähr 65 Minuten, so dass alle 65 Minuten ein Gerät hergestellt wird (Tabelle 12 und Abbildung 18).

Tabelle 12: Durchlaufzeit IB 4 für 3 Mitarbeiter

Durchlaufzeit IB 4 221001417 für 3 Mitarbeiter						
Ablaufabschnitt	Einzelzeiten (Min)			Durchschnitt (Min)	Leistungsgrad (%)	Zeit (Min)
Chassis + Löten	73,59	67,62	69,06	70,09		68,12
Zwischenmontage/ Elektrische Montage	69,34	73,72	74,02	72,36		65,12
Zwischenmontage/Elektrische Montage + Endmontage	73,09	73,71	72,72	73,17		65,86
Summe	216,02	215,05	215,80	215,62		199,10

Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 20: Neue Austaktung der Durchlaufzeit für 3 Mitarbeiter

Quelle: Eigene Darstellung.

Durch ein Outsourcing der Baugruppen an einen Lieferanten, der kostengünstiger produzieren kann, müssen diese nicht mehr in der Linie vormontiert werden. Neben einer weiteren Reduzierung der Durchlaufzeit können zusätzlich Kosten gespart werden. Durch den vordefinierten Fertigungsprozess sind weitere Kombinationen nicht zu empfehlen, da es zu unterschiedlichen Durchlaufzeiten innerhalb der Arbeitsplätze kommt. Dies führt wieder zu einem unregelmäßigen Fertigungsprozess, so dass die durch In-Line eingeführten Vorteile wirkungslos bleiben.

Die Implementierung von Kanban führt zu reduzierten Beständen und Durchlaufzeiten bei der Materialbereitstellung und schafft die Voraussetzung für e-Kanban. Beim e-Kanban werden die Kanbankarten durch eine elektronische Steuerung ersetzt. Die Ergänzung durch Augmented Reality (z.B. Datenbrille) erlaubt die Nutzung von digitalen Vorteilen arbeitsplatzunabhängig und steigert somit die

Flexibilität.¹⁴² Folgende Vorteile ergeben sich durch den Einsatz von e-Kanban:¹⁴³

- Reduzierte Schwankungen der Auftragsmenge und entsprechende Anpassung der Kanbanregelkreise
- Reduzierte Teilbestände und schnelle Reaktion auf Änderungen der Bedarfsmenge
- Verbesserte Effizienz und Transparenz in der kompletten Kanbankontrolle

Zusammenfassend können folgende Handlungsempfehlungen entwickelt werden:

1. Je nach Auftragslage, beträgt die Kapazität der Fertigungslinie entweder drei bei geringer oder fünf bei einer größeren Auftragslage. Durch diese Austaktung des Produktionssystems ist eine Austaktung in Abhängigkeit von zu erwartenden Auftragsstückzahlen möglich. Durch die Aufteilung des Fertigungsprozesses in mehrere Teilprozesse ist zusätzlich die Anlernzeit sowohl für interne als auch für externe Mitarbeitern gering. Eine zusätzliche job-rotation ist zu empfehlen, um so die Motivation der Mitarbeiter aufrechtzuerhalten.¹⁴⁴
2. Durch eine kostengünstige externe Vergabe der Baugruppenfertigung werden neben der Durchlaufzeit auch Kosten reduziert. Dies erhöht dauerhaft die Wettbewerbsfähigkeit.
3. Die systematische Umstellung auf e-Kanban ermöglicht eine bedarfsorientierte Steuerung der Wertschöpfungskette und verringert den Lagerbestand und somit den Wert. Neben einer Verbesserung der Effizienz und der Transparenz können Kosten eingespart werden, indem die Verantwortung und Befüllung der Regale an den Lieferanten weitergegeben wird (Lieferanten e-Kanban).

¹⁴² Vgl. K-T Innovation, Lean 2.0, 2016, S. 3.

¹⁴³ Vgl. Kotani, S., e-Kanban Application, 2007, S. 5790; Oh, S., Shin, J., e-Kanban System, 2012, S. 5294.

¹⁴⁴ Vgl. Grobler, P. et al., Job Rotation, 2006, S. 140.

6 Fazit

Das Fazit prüft im ersten Abschnitt der Zielerreichung, inwieweit die Forschungsfrage aus der Einleitung zu bestätigen ist. In dem zweiten Abschnitt der Methodenreflexion wird die Anwendung der DEA für den Anwendungsfall genauso kritisch überprüft wie das eigene Vorgehen.

6.1 Zielerreichung

Der Anwendungsfall zeigt, dass eine Effizienzsteigerung mit In-Line zu erzielen ist. Durch den Umbau ist die Effizienz zunächst gesunken, da neue Prozesse eingeführt und an In-Line angepasst werden mussten. Langfristig kann durch die Umsetzung und Implementierung durch In-Line nicht nur eine Effizienzsteigerung erzielt werden. Speziell der dargestellte Anwendungsfall zeigt, dass große Schwankungen der Effizienz reduziert werden können und ein kontinuierlicher Produktionsfluss entsteht. Neben der Erhöhung der Effizienz, stellen die Reduzierung der Durchlaufzeit und die Reduzierung der Fläche weitere quantifizierbare Vorteile dar, die mit Hilfe von In-Line erzielt werden können:

- Erhöhung der durchschnittlichen Effizienz um zehn Prozentpunkte von 82% im Jahre 2016 auf 92% im Jahre 2017 (Stand Ende Mai)
- Reduzierung der Durchlaufzeit um 17,08% auf 199 Minuten
- Reduzierung der Fläche um 34,71% auf 222 m²

Ein Vergleich der erzielten Verbesserungen mit den Verbesserungen am Beispiel der Umsetzungsmöglichkeiten zeigt, dass keine einheitlichen oder pauschalen Verbesserungen erreicht werden. Durch die unterschiedlichen Konzepte von In-Line gilt es, diese für das eigene Unternehmen auszuwählen und anzuwenden. Die unterschiedlichen Konzepte lassen darauf schließen, dass das Konzept In-Line in der Literatur nicht existiert. Das Zusammenwirken der Komponenten ermöglicht eine Grundlage für die Weiterentwicklung zur Industrie 4.0, so dass In-Line als Zwischenschritt zur Industrie 4.0 bezeichnet werden kann.

Die mit Hilfe der DEA durchgeführte Effizienzmessung ermöglicht eine objektive Betrachtung mehrerer Input- und Outputgrößen und bietet somit einen größeren Erkenntnisgewinn als bei einer einfachen Kennzahlenbetrachtung. Ursachen und Wirkzusammenhängen können dargestellt und untersucht werden. Zusätzlich

werden Ergebnisse mit konkreten und individuellen Maßnahmen abgeleitet, auf deren Basis (Management-)Entscheidungen getroffen werden können.¹⁴⁵

6.2 Methodenreflexion

Die Methode der DEA ist für die vorliegende Arbeit zweckentfremdet und entsprechend angepasst worden. Während bei einer klassischen DEA verschiedene DMUs miteinander verglichen werden, sind im Anwendungsfall die einzelnen Monate als DMUs definiert und über einen Zeitraum dargestellt worden. Das Ziel ist es, durch diesen Betrachtungszeitraum die Entwicklung und Einflüsse verschiedener Maßnahmen zu untersuchen.

Zur Effizienzberechnung dienen Daten aus dem ERP-System der Cornelius Deutschland GmbH. Die notwendigen Daten zur Erstellung einer Datenbasis für die C03 müssen aus mehreren unterschiedlichen Auswertungen herausgefiltert und konsolidiert werden. Während die Daten der Auswertungen *Production_By_Cell_2010_2017_Mai* und *Time_Per_Work_Center* aus dem ERP-System gewonnen werden, weist die Auswertung *Direkte_Produktivstunden_ab_01.2010* ein hohes Fehlerpotential auf. Damit eine Auswertung erfolgen kann, müssen fehlerhafte oder nicht erfasste Datensätze nachträglich manuell gepflegt werden. Für die monatliche Zusammenfassung der Anwesenheit pro Fertigungslinie werden die Mitarbeiter mit gleichen Kostenstellen zusammengefasst. Eine fehlerhafte Zuordnung der Mitarbeiter verfälscht die Anwesenheit und somit die Effizienzmessung. Da die DEA eine starke Anfälligkeit für fehlerhafte Datensätze in den Auswertungen aufweist, hat dies einen großen Einfluss auf die Messung. Durch fehlerhafte Datensätze werden unrechtmäßige best practice DMUs definiert, aus denen falsche Schlussfolgerungen gezogen werden.¹⁴⁶ Anzumerken ist, dass eine fehlerhafte Datenbasis bei allen anderen Arten der Effizienzmessung die Ergebnisse verfälscht.

Die Auswahl der Variablen stellt ein entscheidendes Kriterium dar, „da sonst die Ergebnisse der Effizienzmessung an Aussagekraft verlieren.“¹⁴⁷ Der Einsatz al-

¹⁴⁵ Vgl. Kerpen, P., Praxisorientierte DEA, 2016, S. 92.

¹⁴⁶ Vgl. Coelli, T. et al., Efficiency and Productivity Analysis, 2005, S.313; Kerpen, P., Praxisorientierte DEA, 2016, S. 92 f.

¹⁴⁷ Schlindwein, R., Effizienzanalyse, 2016, S. 255.

alternativer Variablen wie Automatisierungsgrad der Fertigungslinie oder die Anzahl der Kanban-Regelkreise wäre möglich, die Aufnahme erfordert aber einen hohen Aufwand, da die Daten nicht vorliegen. Die Fläche bietet die Möglichkeit zu prüfen, wie und ob sich eine Veränderung auf die Effizienz auswirkt.

Trotz der Anfälligkeit gegenüber der Datenqualität, ist die DEA die zu wählende Methode. Die unbekannte Produktionsfunktion und die Verwendung von Input- und Outputfaktoren in unterschiedlichen Einheiten sind ebenfalls Gründe, die für den Einsatz der DEA sprechen.¹⁴⁸

Die vorliegende Arbeit hat mit der Untersuchung der Effizienzwerte in der ersten Linie eine Grundlage erstellt, auf derer Basis neben der weiteren Nachverfolgung der Effizienzwerte für die erste Linie auch weitere Linie untersucht werden können. Zur weiteren Verifizierung der Daten mittels DEA ist die aus der Literatur bekannte Kombination mit der SFA eine Möglichkeit, die Daten zu prüfen.

¹⁴⁸ Grundsätzlich ist anzumerken, dass Variablen bei der Betrachtung über einen Zeitraum entsprechend angepasst werden müssen, um eine Vergleichbarkeit zu garantieren; monetäre Variablen z.B. müssen ab- oder aufgezinst werden.

Literaturverzeichnis

- Abts, Dietmar, Mülder, Wilhelm (ERP-System, 2017): Grundkurs Wirtschaftsinformatik – Eine kompakte und praxisorientierte Einführung, 9. Aufl., Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017.
- Allen, Katrin (Möglichkeiten und Grenzen der DEA, 1998): Möglichkeiten und Grenzen der Data Envelopment Analysis im Rahmen des Öko-Controlling, in: Dyckhoff, Harald, Ahn, Heinz (Hrsg.), Produktentstehung, Controlling und Umweltschutz – Grundlagen eines ökologieorientierten F&E-Controlling, 1998, S. 327-352.
- Al-Refaie, Abbas (Optimizing DEA performance, 2012): Optimizing performance with multiple responses using cross-evaluation and aggressive formulation in data envelopment analysis, in: IIE Transactions 44, 2012, S. 262-276.
- Andor, Mark, Hesse, Frederik (Vergleich SFA und DEA, 2014): The StoNED age: the departure into a new era of efficiency analysis? A monte carlo comparison of StoNED and the "oldies" (SFA and DEA), in: Journal of Productivity Analysis, Vol. 41, Issue 1, 2014, S. 85-109.
- Avkiran, Necmi Kemal, Zhu, Yushu (Elizabeth) (DEA against SFA, 2016): Pitching DEA Against SFA in the Context of Chinese Domestic Versus Foreign banks, in: Hwang, Shih-Nan, Lee, Hsuan-Shih, Zhu, Joe (Hrsg.), Handbook of Operations Analytics Using Data Envelopment Analysis, 2016, S. 113-143.
- Banker, Rajiv D., Charnes, Abraham, Cooper, William W. (BCC Data Envelopment Analysis, 1984) Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis, in: Management Science, Vol. 30, Issue 9, 1984, S. 1078-1092.
- Bauer, Hans H., Homburg, Christian (Hrsg.), Schriftenreihe des Instituts für Marktorientierte Unternehmensführung Universität Mannheim, Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag, o.J.
- Bauer, Jürgen (Fertigungsorganisation, 2003): Produktionscontrolling mit SAP-Systemen – Effizientes Controlling, Logistik- und Kostenmanagement moderner Produktionssysteme, 2. Aufl., Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft/GWV Fachverlag GmbH.

- Bauer, Steffen (Produktionssysteme, 2016): Produktionssysteme wettbewerbsfähig Gestalten – Methoden und Werkzeuge für KMU's – KAIZEN, SWOT-Analyse, Pareto-Analyse, 5W-Analyse, Wertstromanalyse, Mind-Mapping, Poka Yoke, 5S, TPM, SMED, KANBAN, Benchmarking, TPS-Prinzipien, München: Carl Hanser Verlag München, 2016.
- Bauernhansl, Thomas, ten Hompel, Michael, Vogel-Heuser, Birgit (Hrsg.) (Industrie 4.0): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik – Anwendung, Technologie, Migration, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014.
- Bauernhansl, Thomas (Industrielle Revolution, 2014): Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma, in: Bauernhansl, Thomas, ten Hompel, Michael, Vogel-Heuser, Birgit (Hrsg.), Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik – Anwendung, Technologie, Migration, 2014, S. 5-35.
- Bergmann, Lars (Ganzheitliches Produktionssystem, 2009): Modernisierung kleiner und mittlerer Unternehmen, in: Dombrowski, Uwe, Lacker, Thomas, Sonnentag, Sabine (Hrsg.), Modernisierung kleiner und mittlerer Unternehmen – Ein ganzheitliches Konzept, 2009, S. 30-64.
- Bezaty, Agnieszka (Vergleich DEA und SFA, 2009): Comparison of the deterministic and stochastic Approaches for estimating technical Efficiency on the Example of non-parametric DEA and parametric SFA Methods: in: Witkowska, Dorota (Hrsg.), Metody ilościowe w Badaniach Ekonomicznych (Quantitative Methods in Economics), 2009, S. 20-29.
- Bleher, Nadine (Produktionssysteme, 2014): Produktionssysteme erfolgreich einführen, Wiesbaden: Springer Gabler, 2014 (Diss. Univ. Hohenheim 2013).
- Boehnke, Klaus (Nicht-parametrische Methoden, 1983): Der Einfluß verschiedener Stichprobencharakteristika auf die Effizienz der parametrischen und nichtparametrischen Varianzanalyse, in: Koller, S., Reichertz, P. L., Überla, K. (Hrsg.), Medizinische Informatik und Statistik, 1983, S. 10-32.
- Bogetoft, Peter, Otto, Lars (Benchmarking, 2011): Benchmarking with DEA, SFA, and R, New York: Springer Science+Business Media Inc., 2011.
- Bohr, Kurt (Effizienz und Effektivität, 1993): Effizienz und Effektivität, in: Wittmann, Waldemar, Kern, Werner, Köhler, Richard, Küpper, Hans-Ulrich, Wysocki von, Klaus (Hrsg.), Handwörterbuch der Betriebswirtschaft, 1993, S. 855-869.

- Bowlin, William F. (Measuring Performance DEA, 1998): Measuring Performance: An Introduction to Data Envelopment Analysis (DEA), in: The Journal of Cost Analysis, Vol. 15, Issue 2, 1998, S. 3-27.
- Bradley, Hugh E. (Hrsg.) (OR): Operational Research '90: Selected Papers from the Twelfth IFORS International Conference on Operations Research Athens Greece, Oxford: Pergamon Press, 1990.
- Brauer W. (Hrsg.) im Auftrag der Gesellschaft für Informatik (GI) (Informatik): Informatik-Fachberichte, Band 38, Berlin Heidelberg New York, 1981.
- Brecht, Ulrich (Werkstattfertigung, 2005): BWL für Führungskräfte – Was Entscheider im Unternehmen wissen müssen, Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler/GWV Science+Business Media, 2005.
- Burger, Andreas (Produktivität und Effizienz, 2008): Produktivität und Effizienz in Banken – Terminologie, Methoden und Status quo, in: Arbeitsberichte der Frankfurt School – Working Paper Series, No. 92, Frankfurt/Main: Frankfurt School of Finance & Management, 2008.
- Charnes, Abraham, Cooper, William W., Rhodes, Eduardo (CCR Data Envelopment Analysis, 1978): Measuring the efficiency of decision making units, in: European Journal of Operational Research, Vol. 2, Issue 6, 1978, S. 429-444.
- Charnes, Abraham, Cooper, William W. (Data Envelopment Analysis, 1990): Data Envelopment Analysis, in: Bradley, Hugh E. (Hrsg.), Operational Research '90, 1990, S. 641-646.
- Chen, Daniel Q., Preston, Daniel S., Swink, Morgan (Big Data, 2015): How the Use of Big Data Analytics Affects Value Creation in Supply Chain Management, in: Journal of Management Information Systems, Vol. 32, No. 4, 2015, S. 4-39.
- Chen, Wen-Chin (Dual-role factors in DEA, 2014): Revisiting dual-role factors in data envelopment analysis: derivation and implications, in: IIE Transactions 46, 2014, S. 653-663.
- Chitnis, Asmita, Vaidya, Omkarprasad S. (DEA and TOPSIS, 2016): Efficiency ranking method using DEA and TOPSIS (ERM-DT): case of an Indian bank, in: Benchmarking: An International Journal, Vol. 23, Issue 1, 2016, S. 165-182.

- Choudhari, Sanjay C., Adil, Gajendra K., Ananthakumar, Usha (Batch Production, 2012): Choices in manufacturing strategy decision areas in batch production system – six case studies, in: International Journal of Production Research, Vol. 50, No. 14, 2012, S. 3698-3717.
- Coelli, Timothy J., Rao D., O'Donnell, Christopher J., Battese, George E. (Efficiency and Productivity Analysis, 2005): An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis, 2. Aufl., New York: Springer Science+Business Media Inc., 2005.
- Cook, Wade D., Seiford, Larry M. (DEA Zeitaspekt, 2009): Data envelopment analysis (DEA) – Thirty years on, in: European Journal of Operational Research, No. 192, Issue 1, 2009, S. 1-17.
- Corsten, Hans, Reiss, Michael, Steinle, Claus, Zelewski, Stephan (Hrsg.) (Managementsystem): Information – Organisation – Produktion, Wiesbaden: Springer Gabler, o.J.
- Cresswell, Lesley, Attwood, Jon, Goodier, Alan, Lambert, Barry (Batch Production, 2004): Product Design: Graphics with Materials Technology, 2. Aufl., Oxford: Heinemann Educational Publishers, 2004.
- Debreu, Gerard (Begriff der Effizienz, 1951): The Coefficient of Resource Utilization, in: Econometrica, Vol. 19, Issue 3, 273–292.
- Dellnitz, Andreas (Produktivitäts- und Effizienzverbesserungen, 2016): Produktivitäts- und Effizienzverbesserungen in der Data Envelopment Analysis – Von der Selbst- zur Kreuzbewertung, Wiesbaden: Springer Gabler, 2016 (Diss. FernUniversität Hagen 2015).
- Dickmann, Philipp (Hrsg.) (Materialfluss): Schlanker Materialfluss mit Lean Production, Kanban und Innovationen, 3. Aufl., Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, 2015.
- Dickmann, Philipp (One-Piece-Flow, 2015): Elemente moderner, schlanker Produktionssysteme, in: Dickmann, Philipp (Hrsg.), Schlanker Materialfluss mit Lean Production, Kanban und Innovationen, 2015, S. 1-178.
- Dombrowski, Uwe, Lacker, Thomas, Sonnentag, Sabine (Hrsg.) (Modernisierung, 2009): Modernisierung kleiner und mittlerer Unternehmen – Ein ganzheitliches Konzept, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2009.

- Dombrowski, Uwe, Mielke, Tim (Hrsg.) (Produktionssysteme): Ganzheitliche Produktionssysteme – Aktueller Stand und zukünftige Entwicklung, Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, 2015.
- Dombrowski, Uwe, Mielke, Tim (Ganzheitliche Produktionssysteme, 2015): Einleitung und historische Entwicklung, in: Dombrowski, Uwe, Mielke, Tim (Hrsg.), Ganzheitliche Produktionssysteme – Aktueller Stand und zukünftige Entwicklung, 2015, S. 1-24.
- Dorfard, Alireza (Kosteneffizienzen und Einsparpotentiale, 2014): Kosteneffizienzen und Einsparpotentiale durch Fusionen – Eine Anwendung auf die Kommunal- und Verwaltungsreform in Rheinland-Pfalz, Wiesbaden: Springer Gabler, 2014 (Diss. Univ. Trier 2012).
- Dyckhoff, Harald, Ahn, Heinz (Hrsg.) (Produktentstehung, Controlling und Umweltschutz, 1998): Produktentstehung, Controlling und Umweltschutz – Grundlagen eines ökologieorientierten F&E-Controlling, Heidelberg: Physica-Verlag, 1998.
- Dyckhoff, Harald (Produktionstheorie, 2006): Produktionstheorie – Grundzüge industrieller Produktionswirtschaft, 5. Aufl., Berlin Heidelberg: Springer, 2006.
- Dyckhoff, Harald, Spengler, Thomas S. (Produktionswirtschaft, 2010): Produktionswirtschaft – Eine Einführung, 3. Aufl., Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2010.
- Dyson, Robert G., Allen, Rachel, Camanho, Ana S., Podinovski, Victor V., Sarico, Claudia S., Shale, Estelle A. (Pitfalls and Protocols in DEA, 2001): Pitfalls and protocols in DEA, in: European Journal of operational research, Vol. 132, Issue 2, 245-259, 2001.
- Ehrenmann, Frank (Wandel von Produktionssystemen, 2015): Kosten- und zeit-effizienter Wandel von Produktionssystemen – Ein Ansatz für ein ausgewogenes Change Management von Produktionsnetzwerken, in: Corsten, Hans, Reiss, Michael, Steinle, Claus, Zelewski, Stephan (Hrsg.), Information – Organisation – Produktion, Wiesbaden: Springer Gabler, 2015 (Diss. Universität Stuttgart 2014).
- Elhami, Behzad, Akram, Asadollah, Khanali, Majid (DEA-MOGA, 2016): Optimization of energy consumption and environmental impacts of chickpea production using data envelopment analysis (DEA) and multi objective genetic

- algorithm (MOGA) approaches, in: *Information Processing in Agriculture* 3(3), 2016, S. 190-205.
- Eling Martin, Luhn, Michael (Effizienzmethoden, 2012): *Frontier Efficiency Methodologies to Measure Performance in the Insurance Industry: Overview, Systematization, and Recent Developments*, in: *The Geneva Papers on Risk and Insurance – Issues and Practice*, Vol. 35, Issue 2, 2010, S. 217-265.
- Erlach, Klaus (Wertstromdesign, 2010): *Wertstromdesign – Der Weg zur schlanken Fabrik*, 2. Aufl., Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2010.
- Farrell, Michael J. (Productive Efficiency, 1957): *The Measurement of Productive Efficiency*, in: *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, Vol. 120, No. 3, 1957, S. 253-281.
- Feldmann, Klaus (Hrsg.) (Montage, 2009): *Montage in der Leistungselektronik für globale Märkte – Design, Konzepte, Strategien*, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2009.
- Goebel, Heike (Datenqualität, 2006): *Entwicklung einer Benchmarking-Methode für die Bewertung der Verbesserung von Gewässerstrukturen an Fließgewässern*, in: Disse, Markus, Günther, Frank Wolfgang, Malcherek, Andreas (Hrsg.), *Universität der Bundeswehr München – Institut für Wasserwesen – Mitteilungen*, Heft 96/2006, München: Kommissionsverlag Oldenbourg Industrieverlag GmbH, 2006.
- Golany, Boaz, Roll, Yaakov (Application Procedure DEA, 1989): *An application procedure for DEA*, in: *OMEGA - The International Journal of Management Science*, Vol. 17, No. 3, 1989, S. 237-250.
- Gorecki, Pawel, Pautsch, Peter (Lean Management, 2015): *Lean Management*, in: Kamiske, Gerd F. (Hrsg.), *Handbuch QM-Methoden – Die richtige Methoden auswählen und erfolgreich umsetzen*, 2015, S. 153-190.
- Gottmann, Juliane (Produktionscontrolling, 2016): *Produktionscontrolling – Wertströme und Kosten optimieren*, Wiesbaden: Springer Gabler, 2016.
- Graf, Ferdinand, Baller, Reinhard (Line-Back-Planung, 2016): *Die Automobilindustrie als Vorbild*, in: *Logistik für Unternehmen*, Heft 1/2-2016, 2016, S. 55-58.

- Grobler, Pieter A., Wörnich, S., Carrell, Michael R., Elbert, Norbert F., Hatfield, Robert D. (Job Rotation, 2006): Human Resource Management in South Africa, 3. Aufl., London: Thomson Learning, 2006.
- Hagenhoff, Svenja, Hogrefe, Dieter, Mittler, Elmar, Schumann, Matthias, Spindler, Gerald, Wittke, Volker (Hrsg.) (Internetforschung): Göttinger Schriften zur Internetforschung, Band 5, Göttingen: Universitätsverlag Göttingen, 2007.
- Hammerschmidt, Maik (Effizienzanalyse im Marketing, 2006): Effizienzanalyse im Marketing – Ein produktionstheoretisch fundierter Ansatz auf Basis von Frontier Functions, in: Bauer, Hans H., Homburg, Christian (Hrsg.), Schriftenreihe des Instituts für Marktorientierte Unternehmensführung Universität Mannheim, 2006.
- Hammerschmidt, Maik, Wilken, Robert, Staat, Matthias (DEA Datenqualität, 2009): Methoden zur Lösung grundlegender Probleme der Datenqualität in DEA-basierten Effizienzanalysen, in: Die Betriebswirtschaft: DBW, Vol. 69 (2), 2009, S. 289-309.
- Hesse, Günter (In-Line Organisation, 1989): Die früher Phase der Industrialisierung in der Theorie der langfristigen wirtschaftlichen Entwicklung, in: Pierenkemper, Toni (Hrsg.), Landwirtschaft und industrielle Entwicklung – Zur ökonomischen Bedeutung von Bauernbefreiung, Agrarreform und Agrarrevolution, 1989, S. 139-174.
- Holthaus, Oliver (Werkstattfertigung, 1996): Ablaufplanung bei Werkstattfertigung – Simulationsgestützte Analyse von Steuerungs- und Koordinationsregeln, Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, 1996.
- Huber, Walter (Industrie 4.0 Automobilindustrie, 2016): Industrie 4.0 in der Automobilproduktion – Ein Praxishandbuch, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2016.
- Hughes, Chris (In-Line Production, 2002): Design and Technology: Resistant Materials, London: Letts and Lonsdale, 2002.
- Hutter, Katharina, Hoffmann, Stefan (Effizienzmessung, 2013): Professionelles Guerilla-Marketing – Grundlagen – Instrumente – Controlling, Wiesbaden: Springer Gabler, 2013.

- Hwang, Shih-Nan, Lee, Hsuan-Shih, Zhu, Joe (Hrsg.) (Operations Analytics, 2016): Handbook of Operations Analytics Using Data Envelopment Analysis, New York: Springer Science+Business Media Inc., 2016.
- Jäger, Jens, Schöllhammer, Oliver, Lickefett, Michael, Bauernhansl, Thomas (Komplexität Industrie 4.0, 2016): Advanced complexity management strategic recommendations of handling the "Industrie 4.0" complexity for small and medium enterprises, in: Procedia CIRP, Band 57, 2016, S. 116-121.
- Kagermann, Henning, Wahlster, Wolfgang, Helbig, Johannes (Zukunftsprojekt Industrie 4.0, 2013): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 – Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern, Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, Berlin, Frankfurt/Main: Forschungsunion im Stifterverband für die Deutsche Wirtschaft e.V., 2013.
- Kaluza, Bernd, Blecker, Thorsten (Hrsg.) (Erfolgsfaktoren, 2005): Erfolgsfaktor Flexibilität – Strategien und Konzepte für wandlungsfähige Unternehmen, Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH & Co., 2005.
- Kamiske, Gerd F. (Hrsg.), Handbuch QM-Methoden – Die richtige Methoden auswählen und erfolgreich umsetzen, 3. Aufl., München: Carl Hanser Verlag, 2015.
- Kaufmann, Timothy (Geschäftsmodelle in Industrie 4.0, 2015): Geschäftsmodelle in Industrie 4.0 und dem Internet der Dinge – Der Weg vom Anspruch in die Wirklichkeit, Wiesbaden: Springer-Vieweg, 2015.
- Kirsch, Jürgen (Industrielle Produktionssysteme, 2009): Organisation der Bauproduktion nach dem Vorbild industrieller Produktionssysteme – Entwicklung eines Gestaltungsmodells eines Ganzheitlichen Produktionssystems für den Bauunternehmer, in: Gehbauer, Fritz, Institut für Technologie und Management im Baubetrieb, Universität Karlsruhe (TH), Heft 63, Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe, 2009.
- Kerpen, Philip (Praxisorientierte DEA, 2016): Praxisorientierte Data Envelopment Analysis, Wiesbaden: Springer Gabler, 2016 (Diss. FernUniversität Hagen 2015).
- Kletti, Jürgen, Schumacher, Jochen (Die perfekte Produktion, 2014): Die perfekte Produktion – Manufacturing Excellence durch Short Interval Technology (SIT), 2. Aufl., Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, 2014.

- Koller, S., Reichertz, P. L., Überla, K. (Hrsg.) (Informatik): Medizinische Informatik und Statistik, Nr. 42, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 1983.
- Koopmans, Tjalling C. (Begriff der Effizienz, 1951): Analysis of production as an efficient combination of activities, in: Koopmans, Tjalling C (Hrsg.), Activity analysis of production and allocation – Proceedings of a conference, New York: John Wiley & Sons, 1951, S. 33-97.
- Koopmans, Tjalling C (Hrsg.) (Analysis of production): Activity analysis of production and allocation – Proceedings of a conference, New York: John Wiley & Sons, 1951.
- Kotani, S. (e-Kanban Application, 2007): Optimal method for changing the number of kanbans in the e-Kanban system and its applications, in: International Journal of Production Research, Vol. 45, No. 24, 2007, S. 5789-5809.
- Krebs, Pascal (Bewertungskriterien, 2012): Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten, Forschungsberichte IWB, Band 255, München: Herbert Utz Verlag GmbH, 2012 (Diss. Techn. Univ. München 2011).
- Krüger, Heinz-Hermann, Kühnel, Martin, Thomas, Sven (Hrsg.) (Taylorismus, 1995): Transformationsprobleme in Ostdeutschland – Arbeit, Bildung, Sozialpolitik, Wiesbaden: Springer Fachmedien, 1995.
- Kukulka, Alicja, Wirkus Marek (Batch Production Processes, 2017): Issues of Measuring the Course of Batch Production Processes, in: Procedia Engineering 182, 2017, S. 387-395.
- Kwon, He-Boong, Lee, Jooh, Roh, James Jungbae (DEA-ANN Approach, 2016): Best performance modeling using complementary DEA-ANN approach: Application to Japanese electronics manufacturing firms, in: Benchmarking: An International Journal, Vol. 23, Issue 3, 2016, S. 704-721.
- Landherr, Martin, Schneider, Ulrich, Bauernhansl, Thomas (Application Center Industrie 4.0, 2016): The Application Center Industrie 4.0 - Industry-driven manufacturing, research and development, in: Procedia CIRP, Band 57, 2016, S. 26-31.
- Lindstädt, Hagen (Hrsg.) (Management, Organisation und Information, 2009): Schriften zu Management, Organisation und Information, Band 17, München und Mehring: Rainer Hampp Verlag, 2009.

- Luther, Friedrich (Produktionsintegrierte Instandhaltung, 2009): Der Weg von einer produktionsintegrierten Instandhaltung zum erfolgreichen, outgesourceten Dienstleister, in: Reichel, Jens, Müller, Gerhard, Mandelartz, Johannes (Hrsg.), Betriebliche Instandhaltung, 2009, S. 13-27.
- Madau, Fabio A. (SFA and DEA, 2015): Technical and Scale Efficiency in the Italian Citrus Farming: A Comparison between SFA and DEA Approaches, in: Agricultural Economics Review, Vol. 16, Issue 2, 2015, S. 15-27.
- Matys, Thomas (Taylorismus, 2014): Macht, Kontrolle und Entscheidungen in Organisationen – Eine Einführung in die organisationale Mikro-, Meso- und Makropolitik, 2. Aufl., Wiesbaden: Springer VS, 2014.
- Mir-Artigues, Pere, González-Calvet, Josep (Line Production, 2007): Funds, Flows and Time – An Alternative Approach to the Microeconomic Analysis of Productive Activities, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2007.
- Morbey, Guilherme (Datenqualität, 2011): Datenqualität für Entscheider in Unternehmen – Ein Dialog zwischen einem Unternehmenslenker und einem DQ-Experten, Wiesbaden: Gabler Verlag, 2011.
- Mosler, Andreas (Handlungsfelder Industrie 4.0, 2017): Integrierte Unternehmensplanung – Anforderungen, Lösungen und Echtzeitsimulation im Rahmen von Industrie 4.0, Wiesbaden: Springer Gabler, 2017.
- Nääs, Irenilza, Vendrametto, Oduvaldo, Reis, João Mendes, Gonçalves, Rodrigo Franco, Silva, Márcia Terra, von Cieminski, Gregor, Kiritsis, Dimitris (Hrsg.) (Production Management Systems, 2016): Advances in Production Management Systems – Initiatives for a Sustainable World, Cham: Springer International Publishing AG, 2016.
- Niedhart, Nicolas (Deterministische Methoden, 2009): Simulation von Wettbewerbsstrategien in liberalisierten Eisenbahnmärkten – Mehrperiodige spieltheoretische Analyse von Wettbewerb im Hochgeschwindigkeitsverkehr, in: Lindstädt, Hagen (Hrsg.), Schriften zu Management, Organisation und Information, 2009.
- Niggemann, Oliver, Jasperneite, Jürgen, Vodencarevic, Asmir (Industrielle Revolution, 2014): Konzepte und Anwendungsfälle für die intelligente Fabrik, in: Bauernhansl, Thomas, ten Hompel, Michael, Vogel-Heuser, Birgit (Hrsg.), Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik – Anwendung, Technologie, Migration, 2014, S. 173-190.

- Obermaier, Robert (Industrie 4.0 Gestaltungsaufgabe, 2016): Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe: Strategische und operative Handlungsfelder für Industriebetriebe, in: Obermaier, Robert (Hrsg.), Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe – Betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Herausforderungen, 2016, S. 3-34.
- Obermaier, Robert (Hrsg.) (Herausforderungen Industrie 4.0): Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe – Betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Herausforderungen, Wiesbaden: Springer Gabler, 2016.
- Oh, Seog-Chan, Shin, Jaemin (e-Kanban System, 2012): A semantic e-Kanban system for network-centric manufacturing: technology, scale-free convergence, value and cost-sharing considerations, in: International Journal of Production Research, Vol. 50, No. 19, 2012, S. 5292-5316.
- Ohno, Taiichi (Toyota Production System, 1978): Toyota seisan hōshiki, Tokyo: Diamond Inc., 1987.
- Ohno, Taiichi (Das Toyota-Produktions-System, 2013): Das Toyota-Produktions-System, Frankfurt/Main: Campus Verlag GmbH, 2013.
- Ortelbach, Björn (Direkte/Indirekte Ziele, 2007): Controlling in wissenschaftlichen Verlagen – Analyse IT-induzierter Veränderungen wissenschaftlicher Verlage und Konzeption ausgewählter Controlling-Instrumente, in: Hagenhoff, Svenja, Hogrefe, Dieter, Mittler, Elmar, Schumann, Matthias, Spindler, Gerald, Wittke, Volker, Göttinger Schriften zur Internetforschung, 2007 (Diss. Georg-August-Universität Göttingen 2007).
- Pareto, Vilfredo (Wohlfahrtsökonomisches Prinzip, 1897): Cours d'Economie Politique, Lausanne/Paris: Macmillan, 1897.
- Petridis, Konstantinos, Chatzigeorgiou Alexander, Stiakakis, Emmanouil (S-T DEA, 2016): A spatiotemporal Data Envelopment Analysis (S-T DEA) approach: the need to assess evolving units, in: Annals of Operations Research 238, 2016, S. 475-496.
- Pfaff, Dietmar (Primär-/Sekundärquellen, 2005): Competitive Intelligence in der Praxis – Mit Informationen über Ihre Wettbewerber auf der Überholspur, Frankfurt/Main: Campus Verlag, 2005.

- Pfeffer, Matthias (Effektivitäts-/Effizienzkennzahl, 2014): Bewertung von Wertströmen – Kosten-Nutzen-Betrachtung von Optimierungsszenarien, Wiesbaden: Springer Gabler, 2014.
- Pfeffer, Michael (In-Line-Konzept, 2009): Auswahlleitfaden für Montagelösungen in der Leistungselektronik, in: Feldmann, Klaus (Hrsg.): Montage in der Leistungselektronik für globale Märkte – Design, Konzepte, Strategien, 2009, S. 83-170.
- Pfeifer, Tilo, Schmitt, Robert (Effektivitäts-/Effizienzkennzahl, 2014): Masing Handbuch Qualitätsmanagement, 6. Aufl., München Wien: Carl Hanser Verlag, 2014.
- Pierenkemper, Toni (Hrsg.) (Industrielle Entwicklung, 1989): Landwirtschaft und industrielle Entwicklung – Zur ökonomischen Bedeutung von Bauernbefreiung, Agrarreform und Agrarrevolution, Stuttgart: Franz Steiner Verlag Wiesbaden GmbH, 1989.
- Prinz, Christopher, Morlock, Friedrich, Freith, Sebastian, Kreggenfeld, Niklas, Kreimeier, Dieter, Kühlenkötter, Bernd (Learning factory modules, 2016): Learning Factory modules for smart factories in Industrie 4.0, in: Procedia CIRP 54, 2016, S. 113-118.
- Protzman, Charles, McNamara, Joe, Protzman Dan (Batching, 2016): One-Piece-Flow vs. Batching – A Guide to Understanding How Continuous Flow Maximizes Productivity and Customer Value, Boca Raton: CRC Press, 2016.
- REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V. (Zeitaufnahme, 1992): REFA – Methodenlehre des Arbeitsstudiums, Teil 2 Datenermittlung, 7. Auflage, München: Carl Hanser Verlag, 1992.
- Rehr, Winfried (Hrsg.) (Industrieroboter, 1989): Automatisierung mit Industrierobotern – Komponenten, Programmierung, Anwendung, in: Ameling, Walter (Hrsg.), Fortschritte der Robotik 2, Band 2, Wiesbaden: Springer Fachmedien, 1989.
- Reichel, Jens, Müller, Gerhard, Mandelartz, Johannes (Hrsg.) (Betriebliche Instandhaltung, 2009): Betriebliche Instandhaltung, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2009.

- Reinecke, Sven, Janz, Simone (Effizienzmessung 2006): Marketingcontrolling: Sicherstellen von Marketingeffektivität und –effizienz, Stuttgart: Kohlhammer, 2006.
- Reschke, Diethelm F., Michel, Reiner M. (Effizienzsteigerung, 2000): Effizienzsteigerung durch Moderation – Projektmanagement und Sanierungsprojekte professionell durchführen, 2. Aufl., Heidelberg: Sauer-Verlag GmbH, 2000.
- Romero, David, Bernus, Peter, Noran, Ovidiu, Stahre, Johan, Fast-Berglund, Åsa (Operator 4.0, 2016): The Operator 4.0: Human Cyber-Physical Systems & Adaptive Automation towards Human-Automation Symbiosis Work Systems, in: Nääs, Irenilza, Vendrametto, Oduvaldo, Reis, João Mendes, Gonçalves, Rodrigo Franco, Silva, Márcia Terra, von Cieminski, Gregor, Kiritsis, Dimitris (Hrsg.), *Advances in Production Management Systems – Initiatives for a Sustainable World*, 2016, S. 677-686.
- Roth, Armin (Hrsg.) (Umsetzung Industrie 4.0): Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2016.
- Sanders, Adam, Elangeswaran, Chola, Wulfsberg, Jens (Wandel Lean zu Industrie 4.0, 2016): Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing, in: *Journal of Industrial Engineering and Management*, Vol. 9, Issue 3, 2016, S. 811-833.
- Sanders, Nada R. (Big Data, 2016): How to Use Big Data to Drive Your Supply Chain, in: *California Management Review*, Vol. 58, No. 3, 2016, S. 26-48.
- Schenk, Michael (Hrsg.) (Zukunftsorientierte Produktion, 2015): Produktion und Logistik mit Zukunft – Digital Engineering and Operation, Berlin Heidelberg: Springer-Vieweg, 2015.
- Schenk, Michael, Schumann, Marco. (Industrie 4.0, 2015): Einleitung – Herausforderungen für die Produktion mit Zukunft, in: Schenk, Michael (Hrsg.), *Produktion und Logistik mit Zukunft – Digital Engineering and Operation*, 2015, S. 1-48.
- Schlamp, Rainer (SFA, 2006): Effizienzmessung im Vertrieb – Spezifikation und Anwendung der Data Envelopment Analysis am Beispiel des Automobilvertriebs, Hamburg: Verlag Dr. Kovac, 2006 (Diss. 2006).

- Schlundwein, Regina (Effizienzanalyse, 2016): Effizienzanalyse von Dienstleistungsproduktionen – Eine Data Envelopment Analysis unter Berücksichtigung stochastischer externer Faktoren, Wiesbaden: Springer Gabler, 2016 (Diss. Universität Hohenheim 2015).
- Schmidtman, D. (Datenqualität, 1981): 5 Jahre Bridge Erfahrungen mit dem Vertriebsinformationssystem der IBM Deutschland GmbH, in: Thome, Rainer (Hrsg.), Datenverarbeitung im Marketing, 1981, S. 1-15.
- Seidel, Michael Alexander (Magisches Dreieck, 2016): Regionalmarketing als räumliches Steuerungs- und Entwicklungsinstrument – Grundlagen – Konzepte – Fallbeispiele, Wiesbaden: Springer Gabler, 2016.
- Sendler, Ulrich (Industrie 4.0, 2013): Einleitung, in: Sendler, Ulrich (Hrsg.), Industrie 4.0 – Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM, 2013, S. 3-16.
- Sendler, Ulrich (Hrsg.) (Industriellen Komplexität): Industrie 4.0 – Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM, Berlin Heidelberg: Springer-Vieweg, 2013.
- Shah, Rachna, Ward, Peter T. (Measures of Lean Production, 2007): Defining and developing measures of lean production, Journal of Operations Management, Vol. 25, Issue 4, 2007, S. 785-805.
- Shephard, Ronald. W. (Cost and Production Functions, 1953): Cost and Production Functions, Princeton: Princeton University Press, 1953.
- Siepmann, David (Struktur und Historie, 2016): Industrie 4.0 – Struktur und Historie, in: Roth, Armin (Hrsg.), Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0, 2016, S. 17-22.
- Soder, Johann (Industrielle Revolution, 2014): Use Case Production: Von CMI über Lean Production zu Industrie 4.0, in: Bauernhansl, Thomas, ten Hompel, Michael, Vogel-Heuser, Birgit (Hrsg.), Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik – Anwendung, Technologie, Migration, 2014, S. 85-102.
- Spath, Dieter, (Hrsg.), Ganschar, Oliver, Gerlach, Stefan, Hämmerle, Moritz, Krause, Tobias, Schlund, Sebastian (Industrie 4.0, 2013): Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0, Studie des Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2013.

- Stimpson, Peter, Smith, Alex (Production methods, 2015): Business Management for the IB Diploma, 2. Aufl., Cambridge: Cambridge University Press, 2015.
- Streck, Georg (Deterministische Methoden, 2004): Einführung in die Statistik für Geoökologie und andere Naturwissenschaftler, Norderstedt: Books on Demand GmbH, 2004.
- Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F. & Uchikawa, S. (Toyota Production System, 1977): Toyota production system and Kanban system – Materialization of just-in-time and respect-for-human system, in: International Journal of Production Research, Vol. 15, No. 6, 1977, S. 553-564.
- Thiel, Klaus (MES, 2011): MES – Integriertes Produktionsmanagement – Leitfaden, Marktübersicht und Anwendungsbeispiele, München Wien: Carl Hanser Verlag, 2011.
- Thome, Rainer (Datenverarbeitung, 1981): Datenverarbeitung im Marketing, in: Brauer W. (Hrsg.) im Auftrag der Gesellschaft für Informatik (GI), 1981.
- Thun, Jörn-Henrik, Drüke, Martin, Grübner, André (TPS Prinzipien, 2010): Empowering Kanban through TPS-Principles – An Empirical Analysis of the Toyota Production System, in: International Journal of Production Research, Vol. 48, No. 23, S. 7089-7106.
- Wang, Rong-Tsu, Ho, Chien-Ta Bruce, Oh, K. (Production and marketing efficiency, 2010): Measuring production and marketing efficiency using grey relation analysis and data envelopment analyses, in: International Journal of Production Research, Vol. 48, No. 1, 2010, S. 183-199.
- Westkämper, Engelbert, Löffler, Carina (Produktionsstrategien, 2016): Strategien der Produktion – Technologien, Konzepte und Wege in die Praxis, Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, 2016.
- Wiedemann, Herbert (REFA-Zeitmessung, 1974): Arbeiter und Meister im rationalisierten Betrieb, Opladen: Westdeutscher Verlag Opladen, 1974.
- Wijbenga, J. (In-Line-Produktion, 1989): Leistungssteigerung in der Montage durch den Einsatz von Robotereinsatz, in: Rehr, Winfried (Hrsg.): Automatisierung mit Industrierobotern – Komponenten, Programmierung, Anwendung, 1989, S. 58-76.

- Wilken, Robert (Dynamisches Benchmarking, 2007): Dynamisches Benchmarking – Ein Verfahren auf Basis der Data Envelopment Analysis, Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag/GWVFachverlage GmbH, 2007 (Diss. Universität Münster 2006).
- Witkowska, Dorota (Hrsg.) (DEA, 2009): Metody Ilościowe w Badaniach Ekonomicznych (Quantitative Methods in Economics), Nr. X, Warschau: Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, 2009.
- Wittmann, Waldemar, Kern, Werner, Köhler, Richard, Küpper, Hans-Ulrich, Wysocki von, Klaus (Hrsg.) (Handwörterbuch): Handwörterbuch der Betriebswirtschaft, Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1993.

Internetquellen

- Agiplan, Fraunhofer IML, Zenit (Industrie 4.0, 2015): Erschließen der Potenziale der Anwendung von ‚Industrie 4.0‘ im Mittelstand (15-06), Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/erschliessen-der-potenziale-der-anwendung-von-industrie-4-0-im-mittelstand.pdf?__blob=publicationFile&v=5, (Zugriff 17-05-31, 22:52 MEZ).
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hightech-Strategie, 2014): Die neue Hightech-Strategie – Innovationen für Deutschland (14-08), https://www.bmbf.de/pub_hts/HTS_Broschure_Web.pdf, (Zugriff 17-05-31, 21:45 MEZ).
- Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG (Inline-Verfahren, 2007): Alles im Fluss (07-05), http://www.freeleaves.de/index_htm_files/Alles%20im%20Fluss.pdf, (Zugriff 17-05-28, 23:09 MEZ).
- Cornelius Deutschland GmbH (Unternehmensvorstellung, 2015): Cornelius (15-11), http://www.cornelius-emea.com/de_DE/home.html, (Zugriff 17-06-13, 23:10 MEZ).
- Erwin, Thomas, Heidkamp, Peter, Pols, Axel (Big Data, 2017): Pressekonferenz – Mit Daten Werte Schaffen 2017 (17-05-30), <https://www.bitkom-research.de/We-bRoot/Store19/Shops/63742557/592C/4FEB/49C0/9C35/CBC3/C0A8/2AB>

B/229F/MDWS_2017_Pressekonferenz_170530.pdf, (Zugriff 17-06-02, 21:15 MEZ).

Handelsblatt (Produktionsverlagerung, 2017): Trump zu Pharma-Konzernen: „Ich will, dass Sie in den USA produzieren“ (17-01-31), <http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/trump-zu-pharma-konzernen-ich-will-dass-sie-in-den-usa-produzieren/19328312.html>, (Zugriff 20.03.2017, 22:01 MEZ).

Henrich Publikationen GmbH (Inline-Fertigung Walter Stuff, 2006): Effiziente In-line-Fertigung (06-04), <http://www.bbr.de/index.cfm?pid=1646&pk=26282#.WSq3VjqkKW8>, (Zugriff 17-05-28, 13:53 MEZ).

ITW (In-Lining, 2007): ITW's Decentralized Structure: How Does It Work? (07-11-30), [http://library.corporate-ir.net/library/71/710/71064/items/271614/ITW-PRES-101_\(november-30-Decentralized-Structure\).pdf](http://library.corporate-ir.net/library/71/710/71064/items/271614/ITW-PRES-101_(november-30-Decentralized-Structure).pdf), (Zugriff 17-05-16, 23:05 MEZ).

K-T Innovation (Lean 2.0, 2016): Whitepaper Lean 2.0 – Ergänzung schlanker Prozesse um digitale Enabler zur weiteren Effizienzsteigerung (16-10-12), https://www.kmu-berater.de/uploads/tx_kmuadviser/attachments/41/WhitepaperLean20.pdf, (Zugriff 17-06-23, 19:22 MEZ).

Kleinemeier, Michael (Chancen und Perspektiven, 2017): Industrie 4.0 – Chancen und Perspektiven für Anbieter (17-03-20), <https://www.bitkom.org/Presse/Anhaenge-an-PIs/2017/03-Maerz/Bitkom-Charts-Industrie-40-20-03-2017.pdf>, (Zugriff 17-06-02, 21:11 MEZ).

Knüpfner, Gunnar (Uebergang Lean zu Industrie 4.0, 2017): Wie wichtig Lean beim Übergang zu Industrie 4.0 ist (17-03-10), <https://www.produktion.de/trends-innovationen/industrie-4-0-ist-erweiterung-von-lean-production-124.html?page=2>, (Zugriff 17-06-05, 17:17 MEZ).

Koch, Volkmer, Kuge, Simon, Geissbauer, Reinhard, Schrauf, Stefan (Chancen und Herausforderungen Industrie 4.0, 2014): Industrie 4.0 – Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution (14), <https://www.strategyand.pwc.com/media/file/Industrie-4-0.pdf>, (Zugriff 17-06-05, 00:56 MEZ).

- Konradin-Verlag Robert Kohlhammer GmbH (Line-back-Konzept, 2008): Line-back-Konzept optimiert die Fertigung von LKW-Achsen (08-07-31), <http://mav.industrie.de/peripherie/anlagen-verfahren/line-back-konzept-optimiert-die-fertigung-von-lkw-achsen/>, (Zugriff 17-05-16, 21:02 MEZ).
- Last, Anne-Kathrin, Wetzel, Heike (Effizienzmessverfahren, 2009): Effizienzmessverfahren – Eine Einführung (09-09), http://www.leuphana.de/fileadmin/user_upload/Forschungseinrichtungen/ifvwl/WorkingPapers/wp_145_Upload.pdf, (Zugriff 17-05-02, 21:18 MEZ).
- MBtech Consulting GmbH (Lean Manufacturing, 2009): Lean Manufacturing Consulting (09-04-24), https://www.mbtech-group.com/fileadmin/media/de/Downloads/2009/consulting/MBtech_LMC_DE_24_04_09_web.pdf, (Zugriff 17-05-29, 21:00 MEZ).
- Neuhauser, Robert (Industrielle Revolution, 2013): Mit Siemens und Sinumerik die Zukunft der Produktion gestalten, Pressekonferenz EMO 2013 (13-07-05), <https://www.siemens.com/press/pool/de/events/2013/industry/drive-technologies/2013-07-emo/presentation-neuhauser-d.pdf>, (Zugriff 17-05-22, 21:20 MEZ).
- Peissner, Matthias, Hipp, Cornelia, Spath, Dieter, Weisbecker, Anette (Hrsg.) (Mensch-Technik Interaktion, 2013): Potentiale der Mensch-Technik Interaktion für die effiziente und vernetzte Produktion von Morgen (13), https://www.iao.fraunhofer.de/lang-de/images/iao-news/studie_future_hmi.pdf, (Zugriff 17-06-03, 01:32 MEZ).
- Riemensperger, Frank (Sensoren, Big Data und 3D-Druck, 2016): Industrie 4.0 – wie Sensoren, Big Data und 3D-Druck die Produktion und die Arbeit in der Fabrik verändern (16-04-21), <https://www.bitkom.org/Presse/Anhaenge-an-PIs/2016/Bitkom-Pressekonferenz-Industrie-40-21-04-2016-Praesentation-final.pdf>, (Zugriff 17-06-02 21:09 MEZ).
- RP Online (Produktion USA, 2017): "Produziert in den USA!": Donald Trump droht General Motors (17-01-03), <http://www.rp-online.de/wirtschaft/unternehmen/produziert-in-den-usa-donald-trump-droht-general-motors-aid-1.6500762>, (Zugriff 20.03.2017, 21:42 MEZ).

Schröder, Axel (Effizienz und Effektivität, o. J.): Effizienz und Effektivität – was ist was? Definitionen & Tipps (keine Datumsangabe), <https://axel-schroeder.de/effektivitaet-und-effizienz-was-ist-was-definitionen-tipps/>, (Zugriff 19.05.2017, 23:12 MEZ).

Staufen AG, Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) der Technischen Universität Darmstadt (Lean Management, 2016): 25 Jahre Lean Management – Lean gestern, heute und morgen (16-02), <http://www.staufen.ag/fileadmin/hq/survey/STAUFEN.-studie-25-Jahre-lean-management-2016.pdf>, (Zugriff 17-06-05, 17:30 MEZ).

Verband der Chemischen Industrie e. V. (VCI) (Industrie als Basis, 2016): Den Industrie- und Chemiestandort Deutschland sichern – Industriepolitische Standpunkte des VCI (16-07), <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/publikation/industriepolitische-standpunkte-vci.pdf>, (Zugriff 17-05-31, 21:43 MEZ).

Interne Quellen

Cornelius Deutschland GmbH (Factory Layout, 2016): Project: Factory Layout, Präsentation der Cornelius Deutschland GmbH, Langenfeld, 2016.

Cornelius Deutschland GmbH (In-Line, 2016): In-Line, Präsentation der Cornelius Beverage Technology Group EMEA, Soft Drinks, Water, Parts, Langenfeld, 2016.

Cornelius Deutschland GmbH (Vorgabezeit, 2016): Project: Factory Layout, Präsentation der Cornelius Deutschland GmbH, Langenfeld, 2016.

Anhang: REFA-Messung der Vorgabezeit für IB 4

Durchlaufzeit IB4 221001417						
Ablaufabschnitt	Einzelzeiten (Min)			Durchschnitt (Min)	Leistungsgrad (%)	Zeit (Min)
Chassis						
Bodenblech komplett vorbereiten	6,03	5,39	5,63	5,68	85	4,83
Wasserbad komplett vorbereiten	9,13	8,25	8,54	8,64	85	7,34
Zwischenwand komplett	2,11	1,07	1,37	1,52	85	1,29
Mantelblech WB komplett vorbereiten	4,00	4,16	4,00	4,05	85	3,45
Mantelblech WB montieren	3,14	3,6	3,74	3,49	85	2,97
Gaskühlerbefestigung montieren	2,17	2,75	2,3	2,41	85	2,05
Kompressor montieren	3,12	2,74	3,65	3,17	85	2,69
Gaskühler montieren	2,47	2,57	2,86	2,63	85	2,24
Summe	32,17	30,53	32,09	31,60	85	26,86
Löten						
Verdampfer vorbereiten und löten	11,82	9,86	11,07	10,92	110	12,01
Verdampfer montieren	1,49	1,83	2,55	1,96	110	2,15
Endlöten (incl. Zulöten)	14,58	11,43	10,44	12,15	110	13,37
Vakuum ziehen (automatisch)						0,00
Kältemittel einfüllen (außerhalb System)	6,26	7,32	6,05	6,54	110	7,20
Endprüfung nach dem Kältemittel einfüllen	1,62	1,42	1,58	1,54	110	1,69
Summe	35,77	31,86	31,69	33,11	110	36,42

Zwischenmontage/Elektrische Montage						
Korrosionsschutz auf Lötstellen auftragen	1,30	1,42	1,40	1,37	90	1,24
Gaskühler Lüfter vorbereiten	7,00	6,41	5,93	6,45	90	5,80
Gaskühler Lüfter montieren	1,50	1,74	1,85	1,70	90	1,53
Heizgas-Fühler montieren	1,70	1,86	1,86	1,81	90	1,63
Elektrik Kompressor montieren	2,50	5,08	5,96	4,51	90	4,06
Traverse montieren	6,88	5,26	3,79	5,31	90	4,78
Zwei Stützen montieren	3,79	3,69	4,06	3,85	90	3,46
Maincontroller montieren und befestigen	1,55	2,40	2,35	2,10	90	1,89
Verkabeln	4,05	6,11	6,64	5,60	90	5,04
Motion-Controller montieren	1,92	1,60	1,80	1,77	90	1,60
Umwälzpumpe vormontieren	4,32	4,86	4,59	4,59	90	4,13
Motor Umwälzpumpe montieren	4,28	4,52	4,40	4,40	90	3,96
Umwälzpumpe an Motor montieren	0,86	1,37	1,12	1,12	90	1,01
Karbonatorpumpe 1 vormontieren	4,98	3,04	4,01	4,01	90	3,61
Motor Karbonatorpumpe 1 montieren	1,27	1,17	1,22	1,22	90	1,10
Karbonatorpumpe 1 an Motor montieren	0,86	0,72	0,79	0,79	90	0,71
Karbonatorpumpe 2 vormontieren	3,96	2,86	3,41	3,41	90	3,07
Motor Karbonatorpumpe 1 montieren	1,27	1,17	1,22	1,22	90	1,10
Karbonatorpumpe 2 an Motor montieren	0,86	0,72	0,79	0,79	90	0,71
Sirupschlangen komplett vorbereiten	5,30	5,10	5,98	5,46	90	4,91
Sirupschlangen montieren	0,91	1,47	1,72	1,37	90	1,23
Baugruppe Eisbankfühler vorbereiten	2,93	5,00	3,01	3,65	90	3,28
Schottwand anbringen	0,85	0,85	0,85	0,85	90	0,77
Baugruppe Karbonator vorbereiten	4,50	5,30	5,27	5,02	90	4,52
Baugruppe Karbonator montieren	8,00	6,60	5,81	6,80	90	6,12
Baugruppe Eisbankfühler montieren	2,58	1,90	1,70	2,06	90	1,85
Anbauteile Karbonator montieren	18,60	19,41	16,33	18,11	90	16,30
Fühler Soda-Return montieren	0,60	0,80	0,81	0,74	90	0,66
Rührwerk vorbeiten und montieren	5,65	5,23	5,28	5,39	90	4,85
Verkabeln	2,40	2,13	2,27	2,27	90	2,04

Anhang: Definition der Baugruppen für IB 4

Durchlaufzeit IB4 221001417						
Ablaufabschnitt	Einzelzeiten (Min)			Durchschnitt (Min)	Leistungsgrad (%)	Zeit (Min)
Chassis						
Bodenblech komplett vorbereiten	6,03	5,39	5,63	5,68	85	4,83
Wasserbad komplett vorbereiten	9,13	8,25	8,54	8,64	85	7,34
Zwischenwand komplett	2,11	1,07	1,37	1,52	85	1,29
Mantelblech WB komplett vorbereiten	4,00	4,16	4,00	4,05	85	3,45
Mantelblech WB montieren	3,14	3,6	3,74	3,49	85	2,97
Gaskühlerbefestigung montieren	2,17	2,75	2,3	2,41	85	2,05
Kompressor montieren	3,12	2,74	3,65	3,17	85	2,69
Gaskühler montieren	2,47	2,57	2,86	2,63	85	2,24
Summe	32,17	30,53	32,09	31,60	85	26,86
Löten						
Verdampfer vorbereiten und löten	11,82	9,86	11,07	10,92	110	12,01
Verdampfer montieren	1,49	1,83	2,55	1,96	110	2,15
Endlöten (incl. Zulöten)	14,58	11,43	10,44	12,15	110	13,37
Vakuum ziehen (automatisch)						0,00
Kältemittel einfüllen (außerhalb System)	6,26	7,32	6,05	6,54	110	7,20
Endprüfung nach dem Kältemittel einfüllen	1,62	1,42	1,58	1,54	110	1,69
Summe	35,77	31,86	31,69	33,11	110	36,42

Zwischenmontage/Elektrische Montage						
Korrosionsschutz auf Lötstellen auftragen	1,30	1,42	1,40	1,37	90	1,24
Gaskühler Lüfter vorbereiten	7,00	6,41	5,93	6,45	90	5,80
Gaskühler Lüfter montieren	1,50	1,74	1,85	1,70	90	1,53
Heizgas-Fühler montieren	1,70	1,86	1,86	1,81	90	1,63
Elektrik Kompressor montieren	2,50	5,08	5,96	4,51	90	4,06
Traverse montieren	6,88	5,26	3,79	5,31	90	4,78
Zwei Stützen montieren	3,79	3,69	4,06	3,85	90	3,46
Maincontroller montieren und befestigen	1,55	2,40	2,35	2,10	90	1,89
Verkabeln	4,05	6,11	6,64	5,60	90	5,04
Motion-Controller montieren	1,92	1,60	1,80	1,77	90	1,60
Umwälzpumpe vormontieren	4,32	4,86	4,59	4,59	90	4,13
Motor Umwälzpumpe montieren	4,28	4,52	4,40	4,40	90	3,96
Umwälzpumpe an Motor montieren	0,86	1,37	1,12	1,12	90	1,01
Karbonatorpumpe 1 vormontieren	4,98	3,04	4,01	4,01	90	3,61
Motor Karbonatorpumpe 1 montieren	1,27	1,17	1,22	1,22	90	1,10
Karbonatorpumpe 1 an Motor montieren	0,86	0,72	0,79	0,79	90	0,71
Karbonatorpumpe 2 vormontieren	3,96	2,86	3,41	3,41	90	3,07
Motor Karbonatorpumpe 1 montieren	1,27	1,17	1,22	1,22	90	1,10
Karbonatorpumpe 2 an Motor montieren	0,86	0,72	0,79	0,79	90	0,71
Sirupschlangen komplett vorbereiten	5,30	5,10	5,98	5,46	90	4,91
Sirupschlangen montieren	0,91	1,47	1,72	1,37	90	1,23
Baugruppe Eisbankfühler vorbereiten	2,93	5,00	3,01	3,65	90	3,28
Schottwand anbringen	0,85	0,85	0,85	0,85	90	0,77
Baugruppe Karbonator vorbereiten	4,50	5,30	5,27	5,02	90	4,52
Baugruppe Karbonator montieren	8,00	6,60	5,81	6,80	90	6,12
Baugruppe Eisbankfühler montieren	2,58	1,90	1,70	2,06	90	1,85
Anbauteile Karbonator montieren	18,60	19,41	16,33	18,11	90	16,30
Fühler Soda-Return montieren	0,60	0,80	0,81	0,74	90	0,66
Rührwerk vorbereiten und montieren	5,65	5,23	5,28	5,39	90	4,85
Verkabeln	2,40	2,13	2,27	2,27	90	2,04
Tests durchführen (außerhalb System)	15,28	16,47	16,18	15,98	90	14,38
Deckel Main Controller montieren	1,16	1,19	0,94	1,10	90	0,99
Prüf-Aufkleber anbringen	1,72	0,75	0,61	1,03	90	0,92
Isolierung unter Umwälzpumpe 1 montieren	0,63	0,63	0,49	0,58	90	0,53
Summe	125,96	128,83	124,44	126,41	90,00	113,77
Endmontage						
Mantelblech vorbereiten und montieren	9,29	8,8	10,67	9,59	90	8,63
Deckel vorbereiten und montieren	2,51	3,19	4,67	3,46	90	3,11
8 Aufkleber anbringen	2,36	3,82	2,84	3,01	90	2,71
Hochspannungstest durchführen	2,55	2,52	2,61	2,56	90	2,30
Fertigergerät komplett verpacken	5,41	5,5	6,79	5,90	90	5,31
Summe	22,12	23,83	27,58	24,51	90,00	22,06
Summe	216,02	215,05	215,80	215,62		199,10

Anhang: Datentabelle der Fertigungslinie C03

Jahr	Monat	Mitarbeiter- anzahl	Anwesenheit	Fläche	Produktiv- stunden	Geräte	Effizienz	Durchschnitt/ pro Jahr
2010	01	6	781	521	684	215	64	87
	02	5	697	521	739	286	100	
	03	7	957	521	1.249	471	100	
	04	5	722	521	768	312	98	
	05	5	746	521	899	301	96	
	06	6	888	521	1.113	377	92	
	07	6	777	521	1.061	364	100	
	08	7	993	521	883	253	66	
	09	6	880	521	903	291	75	
	10	6	842	521	793	289	71	
	11	7	1.035	521	1.162	357	83	
	12	6	832	521	1.058	310	93	
2011	13	6	837	429	544	243	57	81
	14	7	939	429	834	308	71	
	15	8	1.158	429	1.138	425	83	
	16	6	852	429	974	486	100	
	17	8	1.164	429	1.297	437	87	
	18	7	1.013	429	1.157	338	87	
	19	6	883	429	985	316	90	
	20	7	930	429	1.011	271	86	
	21	7	913	429	729	214	64	
	22	6	874	429	883	247	82	
	23	7	1.036	429	958	284	70	
	24	5	720	429	628	230	100	
2012	25	9	1.252	429	1.070	376	72	88
	26	8	1.182	429	1.234	335	78	
	27	11	1.531	429	1.651	567	100	
	28	9	1.194	429	1.232	522	99	
	29	10	1.367	429	1.451	473	89	
	30	9	1.318	429	1.273	387	75	
	31	9	1.216	429	1.450	493	96	
	32	10	1.452	429	1.925	516	100	
	33	8	1.095	429	1.483	488	100	
	34	9	1.311	429	1.488	350	85	
	35	10	1.360	429	1.447	439	84	
	36	6	796	429	719	254	81	

2013	37	9	1.224	429	1.071	263	65	78
	38	8	1.147	429	936	243	61	
	39	9	1.212	429	993	279	61	
	40	10	1.429	340	1.141	363	90	
	41	9	1.267	340	1.118	296	91	
	42	8	1.092	340	914	258	87	
	43	9	1.226	340	1.090	294	92	
	44	7	1.016	340	792	184	79	
	45	7	1.016	340	938	254	94	
	46	9	1.271	340	920	277	78	
	47	9	1.233	340	758	179	62	
2014	48	6	842	340	655	175	78	91
	49	9	1.199	340	869	317	92	
	50	8	1.138	340	757	195	67	
	51	9	1.237	340	1.007	315	90	
	52	9	1.218	340	1.146	335	100	
	53	8	1.107	340	1.019	285	95	
	54	8	1.055	340	1.003	298	100	
	55	11	1.482	340	1.335	392	97	
	56	9	1.281	340	891	262	74	
	57	8	1.159	340	1.074	323	99	
	58	10	1.412	340	1.290	341	94	
2015	59	9	1.329	340	1.071	312	86	89
	60	6	824	340	820	222	100	
	61	11	1.499	340	1.172	380	89	
	62	10	1.413	340	1.148	347	88	
	63	12	1.703	340	1.279	371	81	
	64	11	1.524	340	1.053	365	84	
	65	9	1.325	340	983	298	80	
	66	14	1.928	340	1.358	461	85	
	67	12	1.714	340	1.453	403	90	
	68	16	2.277	340	1.946	528	96	
	69	15	2.066	340	1.847	579	100	
2016	70	16	2.196	340	1.876	603	100	82
	71	16	2.211	340	1.495	531	88	
	72	11	1.558	340	1.278	409	93	
	73	13	1.879	340	1.399	438	83	
	74	17	2.407	340	1.702	492	82	
	75	20	2.732	340	2.294	642	100	
	76	20	2.737	340	2.148	513	94	
	77	20	2.759	340	1.996	424	87	
	78	25	3.545	340	2.574	672	100	
	79	21	2.974	340	2.227	572	94	
	80	25	3.478	340	2.414	766	100	
	81	21	2.898	340	1.649	403	70	82
	82	15	2.099	340	1.260	352	66	
	83	17	2.428	340	857	259	42	
	84	14	1.990	340	1.084	358	64	

2017	85	16	2.269	340	1.434	331	71	92
	86	15	2.090	290	1.509	335	88	
	87	18	2.485	222	1.678	350	100	
	88	15	2.035	222	1.341	272	100	
	89	19	2.603	222	1.561	353	100	

Die Publikationsreihe

Schriftenreihe Logistikforschung / Research Paperseries Logistics

In der Schriftenreihe Logistikforschung des Institutes für Logistik- & Dienstleistungsmanagement (ild) der FOM werden fortlaufend aktuelle Fragestellungen rund um die Entwicklung der Logistikbranche aufgegriffen. Sowohl aus der Perspektive der Logistikdienstleister als auch der verladenden Wirtschaft aus Industrie und Handel werden innovative Konzepte und praxisbezogene Instrumente des Logistikmanagements vorgestellt.

The series research paper logistics by the Institute for Logistics and Service Management at FOM University of Applied Sciences addresses management topics within the logistics industry. The research perspectives include logistics service providers as well as industry and commerce concerned with logistics research questions. The research documents support an open discussion about logistics concepts and benchmarks.

- | | |
|--------|--|
| Band 1 | Klumpp, M., Bovie, F.: Personalmanagement in der Logistikwirtschaft |
| Band 2 | Jasper, A., Klumpp, M.: Handelslogistik und E-Commerce |
| Band 3 | Klumpp, M.: Logistikanforderungen globaler Wertschöpfungsketten |
| Band 4 | Matheus, D., Klumpp, M.: Radio Frequency Identification (RFID) in der Logistik |
| Band 5 | Bioly, S., Klumpp, M.: RFID und Dokumentenlogistik |
| Band 6 | Klumpp, M.: Logistiktrends und Logistikausbildung 2020 |
| Band 7 | Klumpp, M., Koppers, C.: Integrated Business Development |
| Band 8 | Gusik, V., Westphal, C.: GPS in Beschaffungs- und Handelslogistik |
| Band 9 | Koppers, L., Klumpp, M.: Kooperationskonzepte in der Logistik |

-
- Band 10 Koppers, L.: Preisdifferenzierung im Supply Chain Management
- Band 11 Klumpp, M.: Logistiktrends 2010
- Band 12 Keuschen, T., Klumpp, M.: Logistikstudienangebote und Logistiktrends
- Band 13 Bioly, S., Klumpp, M.: Modulare Qualifizierungskonzeption RFID in der Logistik
- Band 14 Klumpp, M.: Qualitätsmanagement der Hochschullehre Logistik
- Band 15 Klumpp, M., Krol, B.: Das Untersuchungskonzept Berufswertigkeit in der Logistikbranche
- Band 16 Keuschen, T., Klumpp, M.: Green Logistics Qualifikation in der Logistikpraxis
- Band 17 Kandel, C., Klumpp, M.: E-Learning in der Logistik
- Band 18 Abidi, H., Zinnert, S., Klumpp, M.: Humanitäre Logistik – Status quo und wissenschaftliche Systematisierung
- Band 19 Backhaus, O., Döther, H., Heupel, T.: Elektroauto – Milliardengrab oder Erfolgsstory?
- Band 20 Hesen, M.-A., Klumpp, M.: Zukunftstrends in der Chemielogistik
- Band 21 Große-Brockhoff, M., Klumpp, M., Krome, D.: Logistics capacity management – A theoretical review and applications to outbound logistics
- Band 22 Helmold, M., Klumpp, M.: Schlanke Prinzipien im Lieferantenmanagement
- Band 23 Gusik, V., Klumpp, M., Westphal, C.: International Comparison of Dangerous Goods Transport and Training Schemes
- Band 24 Bioly, S., Kuchshaus, V., Klumpp, M.: Elektromobilität und Ladesäulenstandortbestimmung – Eine exemplarische Analyse mit dem Beispiel der Stadt Duisburg
- Band 25 Sain, S., Keuschen, T., Klumpp, M.: Demographic Change and its Effect on Urban Transportation Systems: A View from India

Band 26	Abidi, H., Klumpp, M.: Konzepte der Beschaffungslogistik in Katastrophenhilfe und humanitärer Logistik
Band 27	Froelian, E., Sandhaus, G.: Conception of Implementing a Service Oriented Architecture (SOA) in a Legacy Environment
Band 28	Albrecht, L., Klumpp, M., Keuschen, T.: DEA-Effizienzvergleich Deutscher Verkehrsflughäfen in den Bereichen Passage/Fracht
Band 29	Meyer, A., Witte, C., Klumpp, M.: Arbeitgeberwahl und Mitarbeitermotivation in der Logistikbranche
Band 30	Keuschen, T., Klumpp, M.: Einsatz von Wikis in der Logistikpraxis
Band 31	Abidi, H., Klumpp, M.: Industrie-Qualifikationsrahmen in der Logistik
Band 32	Kaiser, S., Abidi, H., Klumpp, M.: Gemeinnützige Kontraktlogistik in der humanitären Hilfe
Band 33	Abidi, H., Klumpp, M., Bölsche, D.: Kompetenzen in der humanitären Logistik
Band 34	Just, J., Klumpp, M., Bioly, S.: Mitarbeitermotivation bei Berufskraftfahrern – Eine empirische Erhebung auf der Basis der AHP-Methode
Band 35	Keinhörster, M., Sandhaus, G.: Maschinelles Lernen zur Erkennung von SMS-Spam
Band 36	Kutlu, C., Bioly, S., Klumpp, M.: Demografic change in the CEP sector
Band 37	Witte, C., Klumpp, M.: Betriebliche Änderungsanforderungen für den Einsatz von Elektronutzfahrzeugen – eine AHP-Expertenbefragung
Band 38	Keuschen, T., Klumpp, M.: Lebenslanges Lernen in der Logistikbranche –Einsatz von ergänzenden Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen
Band 39	Bioly, S., Klumpp, M.: Statusanalyse der Rahmenbedingungen für Fahrberufe in Logistik und Verkehr.
Band 40	Abidi, H., Klumpp, M.: Demografischer Wandel und Industrie-Qualifikationsrahmen Logistik

-
- Band 41 Bayer, F., Bioly, S.: Supply Chain Risk Management in der Industrie – am Beispiel der Metall- und Elektroindustrie
- Band 42 Bioly, S., Sandhaus, G., Klumpp, M.: Wertorientierte Maßnahmen für eine Gestaltung des demografischen Wandels in Logistik und Verkehr
- Band 43 Steltemeier, B., Bioly, S.: Real-time Tracking and Tracing bei Über-seetransporten – technische Realisierung und wirtschaftliche Auswirkungen der Implementierung
- Band 44 Keuschen, T., Marner, T., Bioly, S.: Nachhaltige Mobilitätskonzepte in der Pharmalogistik
- Band 45 Abidi, H., Marner, T., Schwarz, D.: Last Mile-Distribution im Großhandel
- Band 46 Witte, C., Marner, T., Klumpp, M.: Elektronutzfahrzeuge in der Entsorgungslogistik
- Band 47 Berg, A., Abidi, H.: Humanitäre Logistiknetzwerke
- Band 48 Richter, N., Keuschen, T.: Merkmale und Umsetzungsmöglichkeiten nachhaltiger Logistik unter den Aspekten Erwartungshaltung und Zahlungsbereitschaft der Konsumenten
- Band 49 Dorten, E., Marner, T.: Ausschreibung versus Direktvergabe von ÖPNV-Leistungen
- Band 50 Marner, T., Zelewski, S., Gries, S., Münchow-Küster, A., Klumpp, M.: Elektromobilität in der Logistikzukunft - Analysen zur Wirtschaftlichkeit und zu möglichen Einsatzfeldern
- Band 51 Klumpp, M., Neukirchen, T., Jäger, S.: Logistikqualifikation und Gamification – Der wissenschaftliche und fachpraktische Ansatz des Projektes MARTINA
- Band 52 Neukirchen, T., Jäger, S., Paulus, J., Klumpp, M.: Sicherheit und Compliance in der Logistikqualifikation - Konzepte für Gamification-Anwendungen
- Band 53 Peretzke, J., Sandhaus, G.: Einsatzpotentiale von Cognitive Computing zur Unterstützung der Entscheidungsfindung im Supply Chain Management

-
- | | |
|---------|--|
| Band 54 | Meier, C., Mönnig, M., Koop, W., Kleffmann, M., Neukirchen, T., Jäger, S., Klumpp, M.: Logistikqualifikation und Gamification – Softwareentwicklung und Pilotierung der MARTINA-App |
| Band 55 | Metzlaff, P., Jäger, S., Neukirchen, T.: Praxistests der MARTINA-App |
| Band 56 | Neukirchen, T., Kleffmann, M., Koop, W., Jäger, S., Klumpp, M.: Evaluation von mobilen Trainingsanwendungen in der Logistik: Nutzerfeedback der MARTINA-App |
| Band 57 | Loske, D.: Hält Fairtrade was es verspricht? Eine wertschöpfungsorientierte Analyse der Fairtrade Kaffee Supply Chain |
| Band 58 | Neukirchen, T., Kleffmann, M., Koop, W., Gels, A., Jäger, S., Klumpp, M.: Serious Games in der Logistik: Das Beispiel Routenplanung |
| Band 59 | Abidi, H., Klumpp, M., Lehr, T., Jäger, S.: Zukunftsthemen in der Logistikweiterbildung – Ergebnisse einer Expertenbefragung mit dem Analytic Hierarchy Process |
| Band 60 | Loske, D.: Entwicklung eines Konzepts zur Deckung des streckenbezogenen LKW- Parkbedarfs in Süddeutschland mittels GAMS |
| Band 61 | Gruchmann, T., Klumpp, M., Hanke, T., Nestler, K.: Innovative Kommissionier- und Umschlagkonzepte der Logistik – der fachliche Ansatz des Forschungsprojektes ADINA |
| Band 62 | Koop, W., Kleffmann, M., Gels, A., Neukirchen, T., Jäger, S., Klumpp, M.: Serious Games in der Logistik: Generalisierbarkeit und Zertifizierung |
| Band 63 | Gruchmann, T., Nestler, K., Brauckmann, A., Schneider, J., Fischer, C., Hecht, A.: Hürden und Treiber für die Umsetzung innovativer Automatisierungstechnik und Ergonomieunterstützung der Intralogistik |
| Band 64 | Hoene, A., Jawale, M., Neukirchen, T., Bednorz, N., Schulz, H., Hauser, S.: Bewertung von Technologielösungen für Automatisierung und Ergonomieunterstützung der Intralogistik |
| Band 65 | Zaborek, J.: Effizienzmessung als Bewertungskriterium für das Produktionskonzept In-Line mit Hilfe einer Data Envelopment Analysis |

ISBN (Print) 978-3-89275-101-4

ISSN (Print) 1866-0304

ISBN (eBook) 978-3-89275-102-1

ISSN (eBook) 2569-5355



Institut für Logistik- &
Dienstleistungsmanagement
der FOM University of Applied Sciences

FOM Hochschule

FOM. Die Hochschule. Für Berufstätige.

Die mit bundesweit über 50.000 Studierenden größte private Hochschule Deutschlands führt seit 1993 Studiengänge für Berufstätige durch, die einen staatlich und international anerkannten Hochschulabschluss (Bachelor/Master) erlangen wollen.

Die FOM ist der anwendungsorientierten Forschung verpflichtet und verfolgt das Ziel, adaptionsfähige Lösungen für betriebliche bzw. wirtschaftsnahe oder gesellschaftliche Problemstellungen zu generieren. Dabei spielt die Verzahnung von Forschung und Lehre eine große Rolle: Kongruent zu den Masterprogrammen sind Institute und KompetenzCentren gegründet worden. Sie geben der Hochschule ein fachliches Profil und eröffnen sowohl Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern als auch engagierten Studierenden die Gelegenheit, sich aktiv in den Forschungsdiskurs einzubringen.

Weitere Informationen finden Sie unter **fom.de**

ild

Das Ziel des ild Institut für Logistik- & Dienstleistungsmanagement ist der konstruktive Austausch zwischen anwendungsorientierter Forschung und Betriebspraxis. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Instituts untersuchen nachhaltige und innovative Logistik- und Dienstleistungskonzepte unterschiedlicher Bereiche, initiieren fachbezogene Managementdiskurse und sorgen zudem für einen anwendungs- und wirtschaftsorientierten Transfer ihrer Forschungsergebnisse in die Unternehmen. So werden die wesentlichen Erkenntnisse der verschiedenen Projekte und Forschungen unter anderem in dieser Schriftenreihe Logistikforschung herausgegeben.

Darüber hinaus erfolgen weitergehende Veröffentlichungen bei nationalen und internationalen Fachkonferenzen sowie in Fachpublikationen.

Weitere Informationen finden Sie unter **fom-ild.de**



Unter dem Titel »FOM forscht« gewähren Hochschullehrende der FOM Einblick in ihre Projekte. Besuchen Sie den Blog unter **fom-blog.de**