





Die Lean Factory unter  
Berücksichtigung der Digitalen Fabrik

D i s s e r t a t i o n

zur Erlangung des Doktorgrades der Ingenieurwissenschaften

vorgelegt von

**Olaf Quasdorff, MBA Eng.**

aus Köln

eingereicht bei der Fakultät für  
Mathematik / Informatik und Maschinenbau  
der Technischen Universität Clausthal

## **Vorsitzender der Prüfungskommission**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Volker Wesling

## **Hauptberichterstatter**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Bracht

## **Mitberichterstatter**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sigrid Wenzel

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Dombrowski

Tag der mündlichen Prüfung: 20.10.2016

Innovationen der Fabrikplanung und -organisation

Band 36

**Olaf Quasdorff**

**Die Lean Factory unter  
Berücksichtigung der Digitalen Fabrik**

D 104 (Diss. TU Clausthal)

Shaker Verlag  
Aachen 2016

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

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

Zugl.: Clausthal, Techn. Univ., Diss., 2016

Copyright Shaker Verlag 2016

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-4934-3

ISSN 1615-5211

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

*Für meine Kinder, den C<sup>3</sup>.*

*Christian Alexander*

*Catherine Marie*

*Constantin Frederik*



## **Vorwort des Hausgebers**

Nur die erfolgreiche Gestaltung und Weiterentwicklung industrieller Wertschöpfung kann auf Dauer unseren Lebensstandard und die Errungenschaften der sozialen Marktwirtschaft absichern. Die Produktion bildet nach wie vor das Rückgrat einer modernen, im globalen Wettbewerb stehenden Industrie-, Dienstleistungs- und Informationsgesellschaft. Umfassendes Wissen und stetig neue Erkenntnisse auf den Gebieten der Fabrikplanung und Produktionsorganisation sind existentiell notwendig.

Die unternehmerische Bedeutung der Produktionsplanung ist im gleichen Maße gestiegen, wie sich die Innovationszyklen von Produkten, Fertigungs- und Logistiksystemen sowie der Arbeitsorganisation verkürzt haben. Um die vorhandene Marktposition zu festigen oder um Wettbewerbsvorteile zu erlangen, muss jede Unternehmensleitung neben dem Produkt und der Technologie auch die Produktionsstrukturen ständig analysieren, sie rechtzeitig an die zu erwartenden Marktentwicklungen anpassen und gegebenenfalls erneuern.

Die erhöhten Ansprüche an die Gestaltung und Wandlungsfähigkeit von Produktionsstrukturen im turbulenten Umfeld erfordern ein effizientes Projektmanagement und eine durchgehende rechnergestützte Planungsunterstützung. In der vorliegenden Reihe – Innovationen der Fabrikplanung und -organisation – sollen neue Methoden und Instrumente zur Planung und Optimierung von Produktionssystemen und -abläufen einer breiten Leserschaft in verständlicher Form vorgestellt werden. Es sind Forschungsergebnisse die häufig in enger Zusammenarbeit mit der Industrie am Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit der Technischen Universität Clausthal im Bereich Anlagenprojektierung und Materialflusslogistik entstanden sind.

Ein gemeinsamer systemtechnischer Ansatz kennzeichnet die Fachgebiete Anlagenplanung und Logistik, deren technische, informationstechnische, organisatorische und wirtschaftliche Fragestellungen ganzheitlich und zukunftsweisend zu beantworten sind. Die angestrebten Lösungsstrategien sind im Rahmen des gesamten Produkt- und Produktionsentstehungsprozesses zu sehen und beinhalten sowohl eine theoretische, planerische und simulierende Seite als auch die konkrete Ausgestaltung von Prozessketten, Organisationsformen und Abläufen.

In der Vergangenheit wurden Produktionsstrategien, Programme und Teilebedarfe nicht selten aufgrund persönlicher Einschätzung und Erfahrung festgelegt. Heute sind mit Hilfe mathematischer, wissensbasierter Modelle hinreichende Prognosen und Szenarien zu entwickeln und das Komplexitätsmanagement muss bereits bei der Entwicklung variantenreicher Serienprodukte einsetzen. So können z.B. Agentensysteme schon vorausschauend bei der Analyse von Verbindungen möglicher Module helfen.

Früher wurden die darauf aufbauenden Produktionsstrukturen in der Regel nur statisch geplant und für dynamische Betrachtungen allenfalls Mittelwerte herangezogen. Um in Zukunft falsche oder überhöhte Investitionen und unnötige Folgekosten zu vermeiden, sind bestehende und zu planende Anlagen umfassend dynamisch zu analysieren und optimieren. Mit dem inzwischen zur Realität gewordenen ganzheitlichen Ansatz der Digitalen Fabrik kann jetzt – auf Basis eines umfassenden integrierten Datenmanagements durch rechnergestützte Einzelmethoden bis hin zur Virtuellen Realität – der Planungsprozess entscheidend beschleunigt und verbessert sowie die Planungsqualität und -sicherheit erheblich erhöht werden.

Nicht zuletzt gilt es, die in den Produktions- und Logistiksystemen arbeitenden Menschen wieder stärker in den Mittelpunkt zu stellen, ihre Bedürfnisse zu respektieren und ihnen genügend Raum für Engagement und Verantwortung mit effizienten Formen der Arbeitsorganisation zu geben, die Verschwendung vermeiden und eine stetige Steigerung des Produktionsflusses ermöglichen.

## **Vorwort des Verfassers**

Dank meiner langjährigen Tätigkeit im Bereich der Intralogistik und speziell im Bereich der Warehouse Management Systeme fand ich ersten Kontakt zu Themenkreisen der Lean Production. Wesentlich vertieft wurden diese Kenntnisse im Rahmen meines berufsbegleitenden Studiums des Wirtschaftsingenieurwesens mit den Schwerpunkten Produktions- und Supply Chain Management.

Die intensive Beschäftigung mit der historischen Entwicklung und den Grundlagen des von Toyota entwickelten Produktionssystems öffneten für mich ein Tor zu einer faszinierenden ganzheitlichen Philosophie, welche auch heute noch als entscheidender Erfolgsfaktor gilt, um als Unternehmen auf dem Weltmarkt bestehen zu können.

Im Rahmen meines Studiums des Wirtschaftsingenieurwesens erlangte ich über Herrn Professor Dr.-Ing. Uwe Bracht und dem IMAB der TU Clausthal Einblick in das Grundkonzept der Digitalen Fabrik. Auch Dank der bisherigen Schwerpunkte meiner beruflichen Tätigkeit in den Bereichen Industrielle Elektronik, Informationstechnik und -verarbeitung bot sich die Möglichkeit der sinnvollen Verknüpfung beider Themen – dem der Lean Production und dem der Digitalen Fabrik – im Rahmen der vorliegenden Arbeit an.

Eine besondere Herausforderung war die Entwicklung, Durchführung und Auswertung einer umfangreichen Delphi-Studie für eine Expertenbefragung zu dem Themenbereich der Digitalen Fabrik in Verbindung mit einer Lean Factory.

Für die wissenschaftliche Betreuung und Förderung meiner Dissertation danke ich meinem Doktorvater Herrn Professor Dr.-Ing. Uwe Bracht für seine kontinuierliche Unterstützung, seine kritischen Anmerkungen und seine konstruktiven Ratschläge. Frau Professorin Dr.-Ing. Sigrid Wenzel von der Universität Kassel und Herrn Professor Dr.-Ing. Uwe Dombrowski von der TU Braunschweig danke ich für die Übernahme der Zweitgutachten. Darüber hinaus danke ich auch dem Prüfungsvorsitzenden Herrn Professor Dr.-Ing. Volker Wesling von der TU Clausthal.

Ebenso möchte ich mich auch bei den Mitarbeitern und Doktoranden des IMAB der TU Clausthal, insbesondere bei Frau Dipl.-Ing. Maren Fabia Frank und Herrn Dipl.-Wirt.-Ing. Thomas Krüger, für die Beteiligung am Pre-Test der Umfrage und die wertvollen Hinweise zu deren Gestaltung bedanken.

Besonderer Dank gilt auch allen Teilnehmern der Delphi-Umfrage. War diese doch auf Grund des breiten Themenspektrums, des iterativen Charakters und nicht zuletzt auf Grund des Umfangs und des daraus resultierenden zeitlichen Aufwandes auch eine Herausforderung für die teilnehmenden Experten aus Praxis, Beratung, Forschung und Lehre.

Mein größter Dank gilt meiner Familie, insbesondere meinen Kindern, für die Unterstützung und das Verständnis für mein Promotionsvorhaben.

Köln, im November 2016

Olaf Quasdorff

## **Abstrakt**

Entscheidend für den Erfolg im globalen Wettbewerb ist die Effizienz der Fabriken und ihrer Produktion. Für erfolgreiche Fabriken kann das von Toyota entwickelte Produktionssystem als „State of the Art“ bezeichnet werden. Die Systematik des auch als Lean Production bezeichneten Produktionssystems wird auch auf andere Bereiche des wirtschaftlichen Lebens bzw. der Betriebsorganisation übertragen und mit entsprechenden Begrifflichkeiten bezeichnet. Der Begriff Lean Factory steht dabei für den Bereich der Fabrik.

Die in Umfang und Schnelligkeit beispiellose Entwicklung der Informationstechnologie hat wesentlichen Einfluss auf die Produkt- und Produktionsgestaltung. Die Vision der Digitalen Fabrik beinhaltet eine vollständige Repräsentation von Produkt, Prozess und Ressourcen. Produkt, Prozesse und Produktionsstätte sollen digital geplant, simuliert und integriert werden.

Beide Konzepte – das Lean Konzept und das der Digitalen Fabrik – können durch den konsequenten Einsatz von systemevidenten Elementen, wie der Standardisierung, die notwendigen Voraussetzungen für eine Symbiose und damit für umfassende Effizienzsteigerungen schaffen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde untersucht, wie sich das Konzept der Digitalen Fabrik innerhalb der Lean-Philosophie einfügt und sich beide Konzepte gegenseitig beeinflussen bzw. ergänzen. Berücksichtigung fanden aktuelle Entwicklungen, wie die Industrie 4.0 bzw. das Internet der Dinge, aber ebenso eine erweiterte Betrachtung zum Digitalen Unternehmen auf Basis der Digitalen Fabrik.

Es werden der derzeitige Stand und die mögliche Entwicklung der Digitalen Fabrik in einer Lean Factory analysiert. Wesentlicher Bestandteil dieser Analyse sind die Ergebnisse einer im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten umfassenden Delphi-Studie mit einem Zeithorizont bis zum Jahr 2025 unter Einbeziehung zahlreicher Experten aus Praxis, Beratung, Forschung und Lehre. Bei der Betrachtung der Lean Factory finden aktuelle Trends der Umsetzung und mögliche Fehlerquellen, welche dem Geist der Lean Philosophie widersprechen, Berücksichtigung.



## Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	1
1.1	Problemstellung.....	1
1.2	Zielsetzung .....	3
1.3	Aufbau der Arbeit.....	5
2	Die Lean Philosophie .....	7
2.1	Ursprung und Entstehung.....	7
2.2	Grundlagen und Ausprägung.....	11
2.2.1	Konzept der 3M – Muda, Muri, Mura.....	11
2.2.2	Elemente der Lean Philosophie .....	13
2.2.3	Lieferantenbeziehungen.....	28
2.2.4	Von der Lean Production zum Lean Management.....	29
2.2.5	Lean Evolution .....	30
2.2.6	Lean Wellen.....	31
2.3	Hoshin Kanri (Management by Policy).....	34
3	Die Digitale Fabrik und CIM .....	37
3.1	Entwicklung des Computer Integrated Manufacturing .....	37
3.2	Entwicklung der Digitalen Fabrik.....	41
3.2.1	Produkt Lifecycle Management.....	43
3.2.2	Digitale Fabrik .....	45
3.2.3	Rezeption der Entwicklung von CIM, PLM und der Digitalen Fabrik anhand von Printmedienindikatoren.....	49
3.3	Digitale Fabrik – Stand der Entwicklung .....	50
3.4	Voraussetzungen für den Einsatz der Digitalen Fabrik.....	55
3.5	Digitale Fabrik, Industrie 4.0 und das Internet der Dinge.....	57
3.6	Digitale Fabrik und Digitales Unternehmen .....	60

---

4	Delphi-Studie – Einfluss und Perspektiven der Digitalen Fabrik im Rahmen der Lean Factory .....	64
4.1	Methodische Aspekte .....	64
4.1.1	Grundlagen einer Delphi-Befragung .....	65
4.1.2	Organisation .....	68
4.1.3	Themenfelder.....	71
4.1.4	Gestaltung der Fragebögen.....	73
4.1.5	Wer wurde befragt .....	74
4.1.6	Auswerteverfahren.....	75
4.2	Ergebnisse der Befragung.....	76
4.2.1	Statistische Angaben .....	76
4.2.2	Digitale Fabrik.....	80
4.2.3	Technologien der Digitalen Fabrik .....	87
4.2.4	Digitale Fabrik und Industrie 4.0 .....	89
4.2.5	Lean Factory und Digitale Fabrik.....	91
5	Gestaltungsfelder der Lean Factory unter Einbeziehung der Digitalen Fabrik.....	96
5.1	Schnittmengen der Lean Philosophie und Digitalen Fabrik .....	96
5.2	Fabrikplanung.....	99
5.2.1	Fabrikplanung und Digitale Fabrik .....	99
5.2.2	Die wandlungsfähige Fabrik.....	102
5.2.3	Partizipative Fabrikplanung.....	104
5.2.4	Montageplanung.....	106
5.3	Technik und Technologien in der Digitalen Fabrik.....	108
5.3.1	Simulation .....	109
5.3.2	Virtual und Augmented Reality .....	113
5.3.3	Industrie 4.0 und das Internet der Dinge.....	116
5.3.4	Additive Manufacturing .....	118
5.3.5	Informationstechnik.....	121
5.3.6	Technikfassaden.....	132

5.4	Lean Management für die Lean Factory und Digitale Fabrik .....	133
5.4.1	Digitale Fabrik und die 3M .....	133
5.4.2	Unternehmenskultur.....	138
5.4.3	Management by .....	141
5.4.4	Changemanagement.....	145
5.4.5	Organisation der Lean Factory.....	150
5.4.6	Personalführung.....	163
5.4.7	Wissensmanagement.....	173
5.4.8	Lean Office und Büroorganisation.....	179
5.4.9	Der kontinuierliche Verbesserungsprozess .....	182
5.4.10	Instandhaltung .....	189
5.4.11	Nachhaltigkeit .....	194
6	Kritische Bewertung .....	198
7	Zusammenfassung und Ausblick .....	202
7.1	Zusammenfassung .....	202
7.2	Ausblick .....	206
	Abkürzungsverzeichnis.....	207
	Abbildungsverzeichnis .....	209
	Tabellenverzeichnis .....	211
	Literaturverzeichnis .....	212
	Anlage A.....	284
a.	Struktur des Fragebogens .....	284
b.	Zweite Befragungsrunde.....	316
c.	Tool-Tipp-Texte, Hilfe und andere Portal-Features.....	321
d.	Portalzugang.....	329
e.	Einladungen, Danksagung.....	331