

Florian Aull

**Modell zur Ableitung  
effizienter Implementierungsstrategien  
für Lean-Production-Methoden**



Herbert Utz Verlag · München

**Forschungsberichte IWB**

Band 275

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2012

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.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.  
Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2013

ISBN 978-3-8316-4283-0

Printed in Germany  
Herbert Utz Verlag GmbH, München  
089-277791-00 · [www.utzverlag.de](http://www.utzverlag.de)

## Inhaltsverzeichnis

|   |              |
|---|--------------|
| <b>Geleitwort der Herausgeber .....</b>             | <b>I</b>     |
| <b>Vorwort .....</b>                                | <b>I</b>     |
| <b>Inhaltsverzeichnis .....</b>                     | <b>I</b>     |
| <b>Abbildungsverzeichnis .....</b>                  | <b>VII</b>   |
| <b>Tabellenverzeichnis .....</b>                    | <b>XIII</b>  |
| <b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>                   | <b>XV</b>    |
| <b>Verzeichnis der Formelzeichen .....</b>          | <b>XVIII</b> |
| <b>1 Einleitung .....</b>                           | <b>1</b>     |
| 1.1 Bedeutung der Wertschöpfung .....               | 1            |
| 1.2 Ausgangssituation und Motivation.....           | 2            |
| 1.3 Zielsetzung der Arbeit .....                    | 7            |
| 1.4 Spezifizierung des Untersuchungsbereiches ..... | 10           |
| 1.4.1 Begriffsdefinitionen .....                    | 10           |
| 1.4.2 Eingrenzung des Untersuchungsbereiches .....  | 14           |
| 1.5 Forschungsprozess und Aufbau der Arbeit .....   | 14           |
| <b>2 Grundlagen .....</b>                           | <b>17</b>    |
| 2.1 System, Modell und Simulation .....             | 17           |
| 2.1.1 Allgemeines.....                              | 17           |
| 2.1.2 Systemtheorie .....                           | 17           |
| 2.1.2.1 Stellung der Systemtheorie .....            | 17           |
| 2.1.2.2 Der Begriff <i>System</i> .....             | 18           |
| 2.1.2.3 Die Struktur von Systemen .....             | 19           |

## Inhaltsverzeichnis

---

|  |           |
|--|-----------|
| 2.1.2.4 Komplexität in Systemen.....                     | 21        |
| 2.1.3 Modelle .....                                      | 22        |
| 2.1.3.1 Allgemeines und Zweck .....                      | 22        |
| 2.1.3.2 Modellarten.....                                 | 23        |
| 2.1.4 Simulation und Lernmodelle.....                    | 25        |
| 2.2 System Dynamics .....                                | 27        |
| 2.2.1 Allgemeine Einführung in System Dynamics .....     | 27        |
| 2.2.2 Grundlagen von System Dynamics.....                | 28        |
| 2.2.3 Historie von System Dynamics.....                  | 29        |
| 2.2.4 Systemisches Denken.....                           | 31        |
| 2.2.5 Modellierung mit System Dynamics .....             | 33        |
| 2.2.6 Qualitative Modellierung .....                     | 37        |
| 2.2.7 Quantitative Modellierung .....                    | 40        |
| 2.2.8 Mathematische Grundlagen von System Dynamics ..... | 42        |
| 2.3 Zwischenfazit .....                                  | 43        |
| <b>3 Grundlagen von Lean Production .....</b>            | <b>45</b> |
| 3.1 Einführung in Lean Production .....                  | 45        |
| 3.1.1 Historie von Lean Production .....                 | 45        |
| 3.1.2 Toyota-Produktionssystem - TPS .....               | 46        |
| 3.1.3 Retrogrades Kostenprinzip.....                     | 48        |
| 3.1.4 Vermeidung von Verschwendungen.....                | 49        |
| 3.1.5 Pull-Prinzip .....                                 | 50        |
| 3.2 Lean-Production-Methoden.....                        | 52        |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 3.2.1   | Allgemeine Einführung .....                     | 52 |
| 3.2.2   | Logistisch orientierte Methoden .....           | 54 |
| 3.2.2.1 | Produktion im Fluss .....                       | 54 |
| 3.2.2.2 | Einzelstückfluss - one piece flow.....          | 54 |
| 3.2.2.3 | Flexibles Layout (U-Layout).....                | 55 |
| 3.2.2.4 | Synchronisation / Taktzeit.....                 | 56 |
| 3.2.2.5 | Produktionsnivellierung (Heijunka).....         | 57 |
| 3.2.2.6 | Just in Time (JiT) .....                        | 59 |
| 3.2.2.7 | Kanban .....                                    | 60 |
| 3.2.3   | Mitarbeiterorientierte Methoden .....           | 62 |
| 3.2.3.1 | Mehrmaschinenbedienung .....                    | 62 |
| 3.2.3.2 | Multidisziplinär ausgebildete Mitarbeiter ..... | 63 |
| 3.2.3.3 | Shojinka.....                                   | 63 |
| 3.2.4   | Qualitätsorientierte Methoden.....              | 64 |
| 3.2.4.1 | Jidoka / Autonomation .....                     | 64 |
| 3.2.4.2 | 5S.....   | 65 |
| 3.2.4.3 | Standardisierung.....                           | 67 |
| 3.2.4.4 | Visualisierung.....                             | 68 |
| 3.2.4.5 | Total Productive Maintenance (TPM) .....        | 69 |
| 3.2.4.6 | Verkürzung der Rüstzeiten (SMED).....           | 72 |
| 3.2.4.7 | Poka Yoke .....                                 | 74 |
| 3.2.4.8 | Kaizen.....                                     | 76 |
| 3.3     | Zusammenfassung .....                           | 78 |

## Inhaltsverzeichnis

---

|   |            |
|---|------------|
| <b>4 Stand der Erkenntnisse.....</b>  | <b>79</b>  |
| 4.1 Allgemeines.....  | 79         |
| 4.2 Lean-Production-Systemgestaltung und Implementierungsvorgehen ....        | 81         |
| 4.2.1 Implementierung als System.....   | 81         |
| 4.2.2 Phasenmodelle .....   | 88         |
| 4.2.3 Weitere Ansätze .....   | 100        |
| 4.3 Zwischenfazit .....   | 106        |
| <b>5 Interdependenzen von Lean-Production-Methoden und Zielgrößen ....</b>    | <b>109</b> |
| 5.1 Zielsystem.....   | 109        |
| 5.1.1 Allgemeine Einführung.....  | 109        |
| 5.1.2 Zielgröße Zeit.....   | 113        |
| 5.1.3 Zielgröße Kosten.....   | 114        |
| 5.1.4 Zielgröße Qualität .....  | 115        |
| 5.2 Interdependenzen zwischen Lean-Production-Methoden .....                  | 116        |
| 5.2.1 Einführung .....  | 116        |
| 5.2.2 Interdependenzen der Methode „Einzelstückfluss“ .....                   | 118        |
| 5.2.3 Interdependenzen der Methode „Flexibles Layout“ .....                   | 121        |
| 5.2.4 Interdependenzen der Methode „Produktion im Fluss“ .....                | 123        |
| 5.2.5 Interdependenzen der Methode „Synchronisation“ .....                    | 125        |
| 5.2.6 Interdependenzen der Methode „Produktionsnivellierung - Heijunka“ ..... | 126        |
| 5.2.7 Interdependenzen der Methode „Just in time“ .....                       | 129        |
| 5.2.8 Interdependenzen der Methode „Kanban“ .....                             | 131        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 5.2.9    | Interdependenzen der Methode „Mehrmaschinenbedienung“ ..                       | 134        |
| 5.2.10   | Interdependenzen der Methode „Multidisziplinär ausgebildete Mitarbeiter“ ..... | 136        |
| 5.2.11   | Interdependenzen der Methode „Shojinka“ .....                                  | 137        |
| 5.2.12   | Interdependenzen der Methode „Autonomation“ .....                              | 139        |
| 5.2.13   | Interdependenzen der Methode „5S“ .....  | 141        |
| 5.2.14   | Interdependenzen der Methode „Standardisierung“ .....                          | 142        |
| 5.2.15   | Interdependenzen der Methode „Visualisierung“ .....                            | 144        |
| 5.2.16   | Interdependenzen der Methode „TPM“ .....                                       | 145        |
| 5.2.17   | Interdependenzen der Methode „SMED - Verkürzung der Rüstzeiten“ .....          | 146        |
| 5.2.18   | Interdependenzen der Methode „Poka Yoke“ .....                                 | 148        |
| 5.2.19   | Interdependenzen der Methode „Kaizen“ .....                                    | 150        |
| 5.2.20   | Zusammenfassung der Literaturrecherche .....                                   | 152        |
| 5.3      | Experteninterview - Interdependenzen zwischen Lean-Production-Methoden .....   | 154        |
| 5.4      | Zwischenfazit.....   | 157        |
| <b>6</b> | <b>Modell für Interdependenzen zwischen Lean-Production-Methoden....</b>       | <b>159</b> |
| 6.1      | Allgemeine Einführung .....  | 159        |
| 6.1.1    | Basis eines Simulationsmodells .....   | 159        |
| 6.1.2    | Anforderungen an das Simulationsmodell .....                                   | 159        |
| 6.2      | Modellbeschreibung .....   | 160        |
| 6.3      | Modellstruktur für Methoden .....  | 161        |
| 6.4      | Modellstruktur für die Veränderung der Zielgrößen.....                         | 163        |

## Inhaltsverzeichnis

---

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 6.4.1     | Allgemeines .....   | 163        |
| 6.4.2     | Teilmodell zur Simulation der Qualitätsveränderung.....       | 163        |
| 6.4.3     | Teilmodelle zur Simulation der Zielgrößen Zeit und Kosten ... | 165        |
| 6.5       | Simulationsablauf .....                                       | 167        |
| 6.6       | Parametereinstellungen.....                                   | 169        |
| 6.7       | Zwischenfazit .....   | 176        |
| <b>7</b>  | <b>Anwendung des Modells .....</b>                            | <b>177</b> |
| 7.1       | Strukturuntersuchung des Modells .....                        | 177        |
| 7.2       | Generische Implementierungsuntersuchungen.....                | 181        |
| 7.2.1     | Untersuchungsaufbau.....                                      | 181        |
| 7.2.2     | Simulationsergebnisse.....                                    | 185        |
| 7.3       | Resümee .....   | 189        |
| <b>8</b>  | <b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>                     | <b>191</b> |
| <b>9</b>  | <b>Literaturverzeichnis.....</b>                              | <b>195</b> |
| <b>10</b> | <b>Anhang .....</b>   | <b>211</b> |
| 10.1      | Genannte Firmen .....   | 211        |
| 10.2      | Genutzte Softwareprodukte.....                                | 212        |
| 10.3      | Studentische Arbeiten.....                                    | 213        |
| 10.4      | Programmiertexte im Modell - umgesetzt in POWERSIM .....      | 214        |
| 10.4.1    | Programmiertext für Methoden.....                             | 214        |
| 10.4.2    | Programmiertext für Ziele.....                                | 231        |

# 1 Einleitung

## 1.1 Bedeutung der Wertschöpfung

Die Wertschöpfung eines Unternehmens, definiert als produktive Tätigkeiten im verarbeitenden Gewerbe, gewinnt in produzierenden Unternehmen als originäres Ziel zunehmend an Bedeutung. Die Differenz zwischen der Wertschöpfung (=Produktionswert) und den zur Produktion notwendigen Vorleistungen beziffert die wirtschaftliche Leistung eines Unternehmens (HADELER & SELLIER 2000).

Durch stark zunehmende länderübergreifende Transaktionen im wirtschaftlichen Bereich, zusammengefasst im Begriff Globalisierung, konkurrieren Unternehmen mit unterschiedlichen Voraussetzungen um die gleichen Märkte mit dem Ziel der Erhöhung ihrer wirtschaftlichen Leistung. Neben dem damit stark anwachsenden Risiko der höheren Zahl an Wettbewerbern bieten sich hier jedoch auch Chancen. Zu diesen zählen u.a. die höhere Anzahl an potenziellen Kooperationspartnern, der größere Absatzmarkt für Produkte sowie die Entkopplung von Währungsschwankungen (BERGER 2002).

Negativ für den Standort Deutschland im internationalen Wettbewerb sind die Lohnkosten, die häufig als Argument für eine Verlagerung der Produktion in das Ausland mit dort günstigeren Lohnkosten ins Feld geführt werden. Als positiv gelten bspw. die hohe Mitarbeiterqualifikation<sup>1</sup> sowie die gute Infrastruktur. Der Trend vergangener Jahre zeigt jedoch, dass die durch den Außenhandel betriebene Wertschöpfung in Deutschland, trotz zahlreicher Verlagerungen in das Ausland, gestiegen ist. Damit werden auch in Deutschland die durch die Globalisierung vorhandenen Potenziale erschlossen (DEUTSCHER BUNDESTAG 2002).

Um diese Potenziale noch besser auszuschöpfen, gibt es für in Deutschland produzierende Unternehmen mehrere Möglichkeiten.

Zum einen kann der Produktionswert an sich erhöht werden, indem die wertschöpfenden Tätigkeiten erhöht werden, genannt Insourcing. Vor dem Hintergrund der erleichterten internationalen Zusammenarbeit und damit der aufwandsarmen Verlagerung von Teilaktivitäten in Niedrigkostenländer ist dies ein Weg,

---

<sup>1</sup> In der vorliegenden Arbeit wird die maskuline Form von Personenbezeichnungen als generisches Maskulinum verwendet. Es sind aber in gleicher Weise beide Geschlechter gemeint.

der für viele Unternehmen wenig realistisch erscheint, insbesondere für technisch anspruchslose Tätigkeiten.

Der zweite Weg besteht in der Verminderung der für die Produktion notwendigen eigenen Vorleistungen. Gemeint sind hierbei Leistungen, die auch als „nicht direkt wertschöpfende Tätigkeiten“ bezeichnet werden (MANN 2005, S. 196). Eine solche Verminderung kann z.B. in der Logistik mit der Einführung alternativer Lieferkonzepte erreicht werden.

Der dritte Weg besteht in der verschwendungsfreien Ausführung sowohl der Vorleistungen als auch der eigenen produktiven Tätigkeiten (eigene Wertschöpfung) im Unternehmen. Dies kann sowohl durch die Neuorganisation der Tätigkeiten (Effektivität) als auch durch die optimale Gestaltung der Tätigkeiten (Effizienz) realisiert werden. Dabei sind die Potenziale zur verschwendungsfreien Gestaltung auch bei geringen Anteilen an produzierenden Tätigkeiten enorm (KLAPPER 2001). Dieser dritte Weg sollte als erste Maßnahme zur Erreichung einer globalen Wettbewerbsfähigkeit eingeschlagen werden, da er auf eine organisatorische Änderung des Produktionsablaufes abzielt und somit unter Beibehaltung bestehender Ressourcen beschritten werden kann.

Der effektive und effiziente Einsatz der Ressourcen global agierender Unternehmen ist hierfür ein wesentlicher Erfolgsfaktor. Dies umfasst explizit nicht nur die Eliminierung von Verschwendungen, sondern auch die zielgerichtete prozessorientierte Gestaltung der gesamten Wertschöpfung.

Neben den genannten Chancen und Risiken der Globalisierung kann mit der Strategie der Fokussierung auf Effektivität und Effizienz auch anderen häufig im Zusammenhang mit der Globalisierung genannten Imponderabilien, wie Individualisierung und Turbulenz, hervorgerufen durch Komplexität und Dynamik im gesamten Unternehmensumfeld, erfolgreich begegnet werden (McCARTHY & RICH 2004, S. XX; MILBERG & HEITMANN 2000, S. 313; SCHUH et al. 1998, S. 13 ff.; SPATH et al. 2001, S. 235).

### **1.2 Ausgangssituation und Motivation**

Im Zuge der Industrialisierung gewann die Fragestellung der optimalen Gestaltung produktiver Tätigkeiten aufgrund von Skaleneffekten verminderter Verschwendungen an Bedeutung. Die ersten großen Optimierungspotenziale wurden um das Jahr 1900 durch die wissenschaftlichen Arbeiten von F.W. Taylor beschrieben und durch deren Anwendung in der Gestaltung der Fließfertigung

durch Henry Ford bei General Motors gehoben (LACEY & FORD 1987). Diese Entwicklung von der Manufaktur zur Massenfertigung wird auch als „Erste Revolution in der Automobilindustrie“ bezeichnet (BECKER 2006). Charakteristisch hierfür waren die Arbeitsteilung bis in kleinste Tätigkeiten, die Arbeit am Fließband sowie die vertikale Integration, d.h. die Einbindung weiterer Tätigkeiten des Geschäftsprozesses wie Einkauf, Vertrieb und Produktion, im eigenen Unternehmen.

Für die 1950er Jahre des 20. Jahrhunderts und den Beginn der Globalisierung lassen sich zwei verschiedene Entwicklungen der Strategien zur Produktionsgestaltung von Automobilherstellern identifizieren. Die europäischen und US-amerikanischen Hersteller forcierter die Optimierung der Massenproduktion basierend auf den Methoden der Arbeitsteilung und der Fließbandfertigung. In Japan hingegen entwickelte Toyota eine neue Produktionsphilosophie, die zu einem Meilenstein für die Gestaltung von wertschöpfenden Prozessen werden sollte (SHINGO 1989, MONDEN 1998). Kiichiro Toyoda, zu jener Zeit Leiter der Automobilsparte bei Toyota, und sein Produktionsleiter Taiichi Ohno erlangten mit ihrem System, dem „Toyota-Produktionssystem“ (TPS) weltweite Bekanntheit. Sie fokussierten die verschwendungsfreie Produktion als Kernziel in der Gestaltung der wertschöpfenden und nicht-wertschöpfenden Bereiche des Unternehmens (OHNO 1988). Unter verschwendungsfrei verstanden werden hier Herstellungsprozesse, die nur aus Abläufen bestehen, die einem Produkt einen Wert hinzufügen, wie z.B. montieren im Gegensatz zu Material holen oder vorbereiten.

Bis in die 1980er Jahre hatten die europäischen und die US-amerikanischen Automobilhersteller diesen japanischen Weg der Produktionsgestaltung nicht beachtet. Im Rahmen des „International Motor Vehicle Program“ (IMVP) erfolgte in einer umfangreichen Studie am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge, USA, die Untersuchung der Unterschiede zwischen den beiden Strategien mittels wissenschaftlicher Methoden. In der Untersuchung wurden die Montagebereiche der Automobilhersteller auf Kennzahlenbasis analysiert und verglichen (s. Tabelle 1). Die Ergebnisse wurden 1990 durch Womack in dem Buch „The machine that changed the world“ zusammengefasst veröffentlicht und weckten das Interesse der westlichen Automobilkonzerne an der effizienten Produktionsweise von Toyota (vgl. WOMACK et al. 1990).

## 1 Einleitung

---

|   | japanische Werke in Japan | japanische Werke in den USA | US-Werke in den USA | europäische Werke in Europa |
|---|---------------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------------|
| Produktivität [Stunden/Fahrzeug]              | 16,8                      | 21,2                        | 25,1                | 36,2                        |
| Montagefehler [x/100 Fahrzeuge]               | 60,0                      | 65,0                        | 82,3                | 97,0                        |
| Fläche [qm?/ Fahrzeug /Jahr]                  | 0,5                       | 0,8                         | 0,7                 | 0,7                         |
| Nacharbeitsbereich [% Montagefläche]          | 4,1                       | 4,9                         | 12,9                | 14,4                        |
| Lagerbestand [Tage] (für 8 ausgewählte Teile) | 0,2                       | 1,6                         | 2,9                 | 2,0                         |
| Arbeiter in Teams [%]                         | 69,3                      | 71,3                        | 17,3                | 0,6                         |
| Job Rotation [0=keine, 4=häufig]              | 3,0                       | 2,7                         | 0,9                 | 1,9                         |
| Verbesserungsvorschläge [x/Mitarbeiter/Jahr]  | 61,6                      | 1,4                         | 0,4                 | 0,4                         |
| Abwesenheit (%)                               | 5,0                       | 4,8                         | 11,7                | 12,1                        |

Tabelle 1: Zusammenfassung von Merkmalen der Montagewerke von Großserien-Herstellern in der Automobilbranche (WOMACK et al. 1990, S. 97)

Die durch die Studie erlangten Erkenntnisse veränderten die Strategie der Produktionsorganisation und das tägliche Arbeiten in einem Maße, dass als Untertitel des Buches (WOMACK et al. 1990) „Die zweite Revolution der Automobilindustrie“ gewählt wurde. John F. Krafcik war zu jener Zeit wesentlich an dieser Studie am MIT beteiligt und prägte für die japanische Produktionsstrategie den Begriff „Lean Production“, der heute synonym mit dem Begriff „Toyota-Produktionssystem“ verwendet wird (KRAFCIK 1988, KRAFCIK & MACDUFFIE 1989).

Am deutlichsten lässt sich der Unterschied zwischen den beiden Strategien anhand der Kennzahlen Produktivität, Qualität und Lagerbestand aufzeigen. So benötigte Toyota nur 16,8 Stunden für die Montage eines Autos, während es in den US-amerikanischen Werken 25 und in Europa sogar 36,2 Stunden waren. Die Anzahl der Montagefehler in den japanischen Fabriken betrug dabei 60 pro 100 Fahrzeuge gegenüber 82,3 pro 100 Fahrzeugen in den US-amerikanischen Wer-

ken und 97 pro 100 Fahrzeugen in den europäischen Werken. Dementsprechend größer dimensioniert waren auch die Nacharbeitsbereiche in den europäischen und in den US-amerikanischen Fabriken. Der durchschnittliche Lagerbestand von acht ausgewählten Produkten lag in japanischen Werken bei 0,2 Tagen, in US-amerikanischen bei 2,9 Tagen und in europäischen Werken bei 2,0 Tagen.

Wie erklärt sich dieser eklatante Wettbewerbsvorsprung?

Die Produktionsgestaltung in den USA und in Europa war bis zu der IVMP-Studie stets durch die Grundidee geprägt, Bauteileinzelkosten durch die Fertigung großer Stückzahlen zu minimieren (MONDEN 1998, S. 13). Mit dieser Strategie der Massenproduktion konnten in Zeiten stark wachsender Absatzzahlen bei amerikanischen Automobilherstellern beachtliche Gewinne erwirtschaftet werden. Die erste Ölkrise im Jahre 1973 sorgte jedoch für Absatzeinbrüche und in den Folgejahren für geringe Wachstumsraten in der Automobilbranche. Neue Herausforderungen kamen auf die Branche zu: Wirtschaftlichkeit bei hohem Variantenreichtum und niedrigeren Stückzahlen war durch Massenfertigung nur schwer realisierbar (ERLACH 2007, S. 13 ff.).

Toyota hatte zwischen den Jahren 1950 und 1985 eine andersartige Produktionsphilosophie entwickelt, die genau auf diese Rahmenbedingungen zugeschnitten ist. Das Toyota-Produktionssystem enthält Grundelemente der Massenproduktion nach Henry Ford wie beispielsweise das Fließband, jedoch wurden viele Punkte wesentlich verändert und weiter entwickelt (SHINGO 1993, S. 262). Der als Begründer des Toyota-Produktionssystems bezeichnete Taiichi Ohno nennt als wichtigste Bestandteile die Fließfertigung im Einzelstückfluss, die Mehrmaschinenbedienung und das Kanban-Prinzip als Methoden mit dem Hauptziel der Just-in-Time-Fertigung (OHNO 1993, S. 156 f.). Shingo beschreibt als Hauptziel die „*Minimierung von Mensch und Material bei gleich bleibend hohem Qualitätsniveau*“ (SHINGO 1993, S. 262). Das Just-in-Time-Prinzip, die Belieferung mit dem Kanban-Prinzip, das Fertigen in kleinen Losgrößen bis zum Einzelstückfluss, häufige Werkzeugwechsel mit kurzen Rüstzeiten, die Null-Fehler-Methode, das Null-Puffer-Prinzip und das Prinzip der kurzen Regelkreise gehören nach SHINGO (1993, S. 262) zu den wichtigsten Bestandteilen des Toyota-Produktionssystems. Die konsequente Nutzung dieser Methoden führte dazu, dass Toyota günstig und schnell bei hoher Qualität und wenig Ausschuss Autos produzieren konnte und so deutliche Wettbewerbsvorteile erlangte.

Als US-amerikanische und europäische Unternehmen diese eklatanten Unterschiede wahrnahmen, versuchten sie das Toyota-Produktionssystem, oder Teile

## 1 Einleitung

---

daraus, als Leitbild für die Gestaltung der Produktion zu übernehmen. Der immense Kostendruck auf die Automobilhersteller in den 1990er Jahren und die verstärkte Globalisierung trugen dazu bei, dass vor allem in der Automobilindustrie bis heute die Produktion basierend auf dem Grundgedanken von Lean Production ausgelegt wird (BECKER 2005, S. 136 f.).

Seit 1981 führt die amerikanische Unternehmensberatung Harbour Consulting Inc. jährlich eine weltweite Vergleichsstudie zur Produktivität von Automobilfabriken durch. Die Vergleichsergebnisse für nordamerikanische Hersteller werden jährlich veröffentlicht. In der Studie von 2007 ist der Unterschied zwischen dem besten und dem schlechtesten Produktivitätswert in nordamerikanischen Automobilfabriken nur noch 5,17 Stunden/Fahrzeug groß. Dies entspricht etwa einem Kostenunterschied pro Fahrzeug von ca. 300 \$. In die Herstellungszeit werden die Zeiten für die Pressung von Bauteilen, die Herstellung des Antriebstranges sowie die Endmontage der Fahrzeuge eingerechnet. Im Jahr 1998 lag die Differenz zwischen den Herstellern noch bei bis zu 17,17 Stunden/Fahrzeug. Im Jahr 2005 lag der Unterschied nur noch bei 7,33 Stunden/Fahrzeug (HARBOUR CONSULTING 2007).

Die Ergebnisse des weltweiten Vergleichs werden nicht veröffentlicht und sind nur den teilnehmenden Unternehmen zugänglich. Ein Artikel in der Zeitschrift „Automobilwoche“ nannte die in Tabelle 2 gelisteten Daten für ausgewählte europäische Automobilwerke (KLUGER 2007).

| Hersteller | Modell  | Werk            | Stunden pro Fahrzeug 2003 | Stunden pro Fahrzeug 2006 |
|------------|---------|-----------------|---------------------------|---------------------------|
| Volkswagen | Golf    | Mosel (D)       | 33,02                     | 31,49                     |
| Peugeot    | 307     | Mülhausen (F)   | 24,29                     | 23,96                     |
| Opel       | Astra   | Bochum (D)      | 23,88                     | 22,37                     |
| Toyota     | Corolla | Burnaston (GB)  | 28,79                     | 20,66                     |
| Ford       | Focus   | Saarlouis (D)   | 19,48                     | 16,56                     |
| Nissan     | Qashqai | Sunderland (GB) | -                         | 14,68                     |

Tabelle 2: *Pro Fahrzeug ermittelte summierte Pressen-, Antriebsstrang- und Endmontagezeit für ausgewählte Werke in Europa (KLUGER 2007)*

Die Differenzen der betrachteten europäischen Werke sind größer als die der nordamerikanischen Werke, was auch auf Unterschiede der Auslastung, der Personalstruktur und des Alters der Werke zurück zu führen ist. Generell sind jedoch die Anstrengungen der Fertigungszeitreduzierung über alle Unternehmen hinweg auszumachen.

Bezeichnend für den Erfolg der Fokussierung auf die Effektivität und Effizienz der Produktionsprozesse ist die signifikante Verminderung der Gesamtdurchlaufzeit. Die im Rahmen des IVMP erhobenen Daten basierten nur auf der DLZ in der Endmontage. Die Zeiten, die im Rahmen der Harbour-Studie erhoben wurden, beziehen sich auf die Pressen-, Antriebsstrang- und Endmontagezeit.

### 1.3 Zielsetzung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Implementierung von „Schlanken Produktionssystemen“ in bestehenden Produktionsstrukturen. Nach der Definition der Zielsetzung dieser Arbeit wird in Abschnitt 1.4 der Untersuchungsbereich abgegrenzt. In Abschnitt 1.5 wird der Aufbau dieser Arbeit erläutert.

In den vergangenen 20 Jahren seit der Veröffentlichung des Buches von Womack und Jones sind weltweit viele Anstrengungen unternommen worden, die Prinzipien des TPS in produzierende Unternehmen zu implementieren. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Erstellung eines Modells zur Ableitung effektiver Einführungsreihenfolgen von Lean-Production-Methoden im Rahmen einer umfassenden Einführung eines „Schlanken Produktionssystems“.

Seit der Studie des MIT haben sich Unternehmen aller Größen an der Implementierung von *Lean Production* versucht. Dies geschah und geschieht i.d.R. unter Inanspruchnahme unternehmensexterner Hilfe, wie von Unternehmensberatern oder Forschungsinstituten. Häufig führt diese Art der Unterstützung jedoch dazu, dass zwar das notwendige Fachwissen und die Theorie in Unternehmen transferiert werden, die Belegschaft jedoch kein Umdenken im Gestalten der täglichen Arbeit vollzieht.

Alle Autoren, die sich dem Thema der Einführung sogenannter „Schlanker Produktionsstrukturen“ gewidmet haben, betonen jedoch die Notwendigkeit eines Umdenkens und einer aktiven, also gestaltenden Mitarbeit der Beschäftigten. So ist es nicht selten zu beobachten, dass Einführungsprojekte von TPS oder von einzelnen Bestandteilen wie Just in Time (JiT) oder Kanban nicht erfolgreich sind und sich häufig nur als Projekte zum Mitarbeiterabbau in den Köpfen der

## 1 Einleitung

---

Beschäftigten fixieren. Der wesentliche Unterschied zwischen den verschiedenen Gestaltungsprinzipien der Produktion geht dabei verloren, und die Chance auf eine erfolgreiche Einführung eines „Schlanken Produktionssystems“ sinkt. Insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) unterliegen aufgrund ihrer begrenzten Mitarbeiterkapazität dieser Gefahr (vgl. SPATH et al. 2011). Mittlerweile haben Unternehmen und Unternehmensberatungen diese Gefahr erkannt und achten bei der Einführung von „Schlanken Produktionssystemen“ darauf, die Belegschaft von Beginn an zu integrieren und die Neugestaltung von Produktionsbereichen mit in deren Verantwortung zu legen.

Eine große Herausforderung stellt die Definition des Zielsystems zur Einführung eines „Schlanken Produktionssystems“ dar. Das Toyota-Produktionssystem wird häufig nur als Sammlung von Lean-Production-Methoden betrachtet, aus denen nur eine Selektion in der eigenen Produktion sinnvoll umzusetzen sei. Dabei wird häufig argumentiert, dass jedes Unternehmen individuell sei und damit unterschiedliche Stärken und Schwächen habe. Daher sei es richtig, auch nur die Methoden des TPS auszuwählen, die den Bedürfnissen des Unternehmens entsprechen. Dieser auf den ersten Blick logische Schluss ist jedoch nicht richtig. So ist das Toyota-Produktionssystem im Laufe mehrerer Jahrzehnte entwickelt worden, wobei die neuen Methoden immer auf die jeweils aktuellen Probleme ausgerichtet waren. Dies spricht dafür, nur die Methoden einzuführen, die auf die individuellen Schwächen von Unternehmen abzielen. Es ist jedoch evident, dass die einzelnen Phasen im Laufe der Entwicklung des TPS auch durch die Implementierung neuer Lean-Production-Methoden geprägt waren. D.h., dass die zu jeweiligen Phasen neu zu lösenden individuellen Probleme sowohl durch generelle äußere Einflüsse als auch durch die vorherige Implementierung von anderen Lean-Production-Methoden selbst hervortraten. Das Beispiel von der Einführung der Methode *Produktionsglättung* macht dies anschaulich. Um dem Problem der stark schwankenden Auftragseingänge, sowohl in Produktvarianten als auch hinsichtlich der Gesamtanzahl an Aufträgen, und deren Auswirkung einer unausgeglichenen Produktionsbelegung zu begegnen, wurde das Prinzip der Produktionsglättung eingeführt. Hierbei werden die Aufträge des Monats in Wochen aufgeteilt, um anschließend in Tageslose herunter gebrochen zu werden. Dies führt dazu, dass Produktvarianten oder -typen nicht in einem großen Los am Stück gefertigt werden, sondern in kleinen Losen über mehrere Tage verteilt. Dies impliziert jedoch eine hohe Anzahl an Rüstwechseln. Ein Rüstwechsel ist, da er nicht zur Wertschöpfung beiträgt, Verschwendungen im Sinne des TPS. Neben den positiven Effekten einer Produktionsglättung steigen also auch negative Effekte

an. Damit wird durch die Einführung einer Lean-Production-Methode ein neues Problem induziert (MONDEN 1998, SHINGO 1993). Genau diese Zusammenhänge sind es, auf die bspw. Monden, Takeda und Shingo hinweisen. So warnte Takeda vor der isolierten Betrachtung der einzelnen Methoden des Toyota-Produktionssystems:

*„Bei der Einführung des [...] Produktionssystems muss die Beziehung der einzelnen Schritte untereinander permanent berücksichtigt werden. Wenn man einen Schritt allein umsetzen will, wird man schnell an eine Mauer gelangen, die aus den wechselseitigen Einflüssen durch die anderen Schritte gebildet wird“ (TAKEDA 2004, S. 239).*

Das System muss demnach als Ganzes betrachtet werden und führt auch nur bei der ganzheitlichen Umsetzung nachhaltig zu Erfolg. Der Grund liegt in den Interdependenzen zwischen den Methoden und den Unternehmenszielen (MONDEN 1998). Bisherige Implementierungsansätze beinhalteten „*einzelne - teilweise willkürlich ausgewählte - Methoden (...) ohne die gleichzeitige Einordnung in einen strukturgebenden Rahmen*“ (ZÄH & AULL 2006). Verständlich ist dieser Fehler in der Vorgehensweise aus dem Grund, dass es bisher an einer ganzheitlichen, wissenschaftlichen Untersuchung zu Interdependenzen fehlt, auf Basis derer ein Implementierungsplan sinnvoll entwickelt werden könnte.

Dem Gedanken einer umfassenden Einführung eines Produktionssystems folgend stellt sich die Frage nach der Reihenfolge der Einführung der einzelnen Methoden. Insbesondere KMUs sind aufgrund ihrer begrenzten Kapazitäten darauf angewiesen, die Einführung schrittweise zu vollziehen. Generell wird dies auch von Monden, Takeda und Shingo angemahnt, die jeweils eigene grobe Einführungspläne bereitstellen (MONDEN 1998, SHINGO 1989, TAKEDA & MEYNERT 2004).

Der Bedarf das Zusammenwirken von Lean-Production-Methoden zu verstehen und Unterstützung bei der Definition von Einführungsstrategien für Schlanke Produktionssysteme zu erhalten wird durch Ergebnisse einer Studie von Lanza et al. bestätigt. Die Unternehmenskurzstudie beschäftigt sich mit Erfolgsfaktoren beim Einsatz von Lean-Production-Methoden. Die befragten Unternehmen geben folgende fehlende Hilfestellungen bei der Implementierung von Lean-Production-Methoden an. Aufgeführt sind die vier meistgenannten in absteigender Reihenfolge (LANZA ET AL. 2011):

- Fehlende Bewertungsmöglichkeiten des wirtschaftlichen Erfolges (46%)
- Schwierige Prognose des Zusammenspiels von Lean-Methoden (33%)

- Anwenderfreundliche Planungsunterstützung (31%)
- Keine klare Vorgehensweise für den Einsatz und Weiterentwicklung (25%).

Ziel dieser Arbeit ist daher die Untersuchung der Interdependenzen der einzelnen Lean-Production-Methoden. Diese sind in ein simulationsfähiges Modell zu übersetzen, um anhand des Modells geeignete Einführungsreihenfolgen von Lean-Production-Methoden im Rahmen einer umfassenden Einführung eines „Schlanken Produktionssystems“ abzuleiten.

## 1.4 Spezifizierung des Untersuchungsbereiches

### 1.4.1 Begriffsdefinitionen

Für ein einheitliches Verständnis werden in diesem Abschnitt die im Rahmen der vorliegenden Arbeit verwendeten zentralen Begriffe *Toyota-Produktionssystem*, *Lean Production*, *Schlanke Produktionssysteme*, *Lean-Production-Methoden* und *Interdependenzen* definiert.

#### Toyota-Produktionssystem

Das Toyota-Produktionssystem ist ein System zur verschwendungsarmen Gestaltung der Produktionsstrukturen. Die erste Veröffentlichung hierzu erschien 1977 von Sugimori et al., die die Grundzüge des Toyota-Produktionssystems folgendermaßen beschrieben:

*„Die Reduzierung von Kosten durch die Vermeidung von Verschwendungen - Nur die minimale zur Produktion notwendige Leistung - Ein System, mit dem die Mitarbeiter ihre vollständigen Fähigkeiten nutzen können.“<sup>2</sup>*

Die Basis für die Produktionsgestaltung unter diesen Vorgaben bilden die beiden Methoden Just in Time (Abschnitt 3.2.2.6) und Jidoka (Abschnitt 3.2.2.7), auch Autonomation genannt (SUGIMORI et al. 1977).

Die grundlegende Idee des Toyota-Produktionssystems ist es also, nur das zu produzieren, was benötigt wird, zu dem Zeitpunkt, zu dem es benötigt wird, und

---

<sup>2</sup> “Reduction of cost through elimination of waste/ Minimum amount absolutely essential to production/ System that will allow the workers to display their full capability by themselves.”

in der Menge, in der es benötigt wird. Um die übergeordneten Ziele der Kostenreduktion, der Lieferzeitverkürzung und der höchsten Qualität zu erreichen, hat Toyota die Unterziele Produktivität, Flexibilität, Qualität und Respekt vor dem Mitarbeiter definiert (MONDEN 1998). Diese Unterziele werden durch die Anwendung verschiedener Lean-Production-Methoden erreicht. Die Basis dabei ist die absolute Vermeidung von Verschwendungen (OHNO 1988). In ihrem grundlegenden Artikel zum Wesen des Toyota-Produktionssystems „*Die DNA des Toyota-Produktionssystems*“<sup>3</sup> schreiben Spear und Bowen:

„TPS beinhaltet die Standardisierung von Arbeitsschritten, störungsfreie Arbeitsflüsse, enge Verknüpfungen zwischen Lieferanten und Kunden und kontinuierliche Verbesserung basierend auf einer wissenschaftlichen Methodik“ (SPEAR & BOWEN 1999).<sup>4</sup>

Am weitesten fassen Shah & WARD ihre Definition des Toyota-Produktionssystems:

„Lean Production ist ein integriertes sozio-technisches System mit der Zielsetzung, Verschwendungen zu beseitigen, durch die gleichlaufende Minimierung von Variabilität sowohl bei Lieferanten als auch bei Kunden als auch im Unternehmen selbst.“ (SHAH & WARD 2007).<sup>5</sup>

Diese Definition bildet auch die Grundlage des Begriffes *Toyota-Produktionssystem* in der vorliegenden Arbeit.

### **Lean Production**

Unter *Lean Production* wird generell und auch in der vorliegenden Arbeit die Anwendung der Methoden des Toyota-Produktionssystems im Hinblick auf die Erreichung der Ziele und Unterziele verstanden. Der Begriff wurde im Rahmen der IVMP von J. F. Krafcik geprägt und bezog sich darauf, dass Toyota weniger „von allem“, also von Material, Kosten, Personal, Ressourcen usw., zur Herstellung seiner Produkte benötigt (KRAFCIK 1988). Grundlegendes Prinzip für Lean Production ist die Gestaltung der Produktion im Fluss (vgl. ROTHER & HARRIS 2001, SMALLEY 2004). Dies ist keine spezifisch neue Methode, sondern die

---

<sup>3</sup> „The DNA of the Toyota Production System“

<sup>4</sup> „TPS includes standardisation of work, uninterrupted work flows, direct links between suppliers and customers, and continuous improvement based on the scientific method.“

<sup>5</sup> „Lean Production is an integrated socio-technical system whose main objective is to eliminate waste by concurrently reducing or minimizing supplier, customer, and internal variability.“

## 1 Einleitung

---

Übernahme des Fließprinzips von Henry Ford (OELTJENBRUNS 2000). Womack et al. beschreiben *Lean Production* folgendermaßen:

*„Im Vergleich zur Massenproduktion wird immer weniger benutzt - die Hälfte des menschlichen Aufwands..., die Hälfte an Fertigungsflächen, die Hälfte an Werkzeugsinvestition, die Hälfte an Konstruktionsstunden, innerhalb derer ein Produkt doppelt so schnell entwickelt wird. Es wird auch deutlich weniger als die Hälfte des Bestands in der Fabrik benötigt, mit geringerer Anzahl an Produktionsfehlern bei einer stetig wachsenden Variantenvielfalt.“ (WOMACK ET AL. 1990).<sup>6</sup>*

Hopp und Spearman unterstreichen den systemischen Charakter von Lean Production: „Lean Production ist ein integriertes System, das die Produktion von Gütern bzw. Dienstleistungen mit minimalen Bestandskosten schafft“ (HOPP & SPEARMAN 2004).<sup>7</sup>

Mittlerweile wird *Lean Production* für die Gestaltung der Prozesse aller Bereiche von produzierenden Unternehmen, wie Einkauf, Produktentwicklung und Vertrieb, genutzt und findet darüber hinaus Anwendung bei Behörden unter den Begriffen „*Lean Administration*“ oder „*Lean Government*“ (BÖSENBERG & HAUSER 1994, WIEGAND & FRANCK 2004, WIEGAND & NUTZ 2007) und in Krankenhäusern unter den Begriffen „*Lean Healthcare*“ oder „*Lean Hospital*“ (CALDWELL et al. 2005, CHALICE 2007, WESTWOOD et al. 2007). In der englischsprachigen Bezeichnung spiegelt sich wider, dass insbesondere Nordamerika und das Vereinigte Königreich einen Vorsprung vor anderen Staaten und Regionen hinsichtlich der Erforschung und Realisierung von „*Lean Production*“ in anderen Bereichen als der Produktion haben. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird der Begriff *Lean Production* als die Organisation der Produktion durch die Anwendung der Methoden des Toyota-Produktionssystems mit der konsequenten Ausrichtung auf Kostensenkung durch Verschwendungseliminierung verwendet.

---

<sup>6</sup> “[It] uses less of everything compared with mass production – half the human effort..., half the manufacturing space, half the investment in tools, half the engineering hours to develop a new product in half the time. Also, it requires keeping far less than half the needed inventory on site, results in many fewer defects, and produces a greater and ever growing variety of products.”

<sup>7</sup> “Lean Production is an integrated system that accomplishes production of goods/services with minimal buffering costs.”

### **Schlankes Produktionssystem**

Der Begriff *Schlankes Produktionssystem* resultiert aus der wörtlichen Übersetzung des englischen Begriffes *Lean Production* ins Deutsche. In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff als Überbegriff für die unternehmensspezifischen Produktionssysteme verwendet, die inhaltlich auf dem Toyota-Produktionssystem und *Lean Production* aufbauen.

In diesem Zusammenhang wird, insbesondere in Deutschland, auch die Wortkombination vom „*Ganzheitlichen Produktionssystem*“ genutzt (FEGGELER & NEUHAUS 2002, SPATH 2003, KORGE & SCHOLTZ 2004, DOMBROWSKI et al. 2005, WILDEMANN 2005). Dieser Begriff vermittelt den Eindruck, dass diese Produktionssysteme die Produktion ganzheitlich betreffen und damit ausreichen, um die Produktion zu gestalten. Dies ist jedoch nicht der Fall, da *Schlankes Produktionssysteme* z.B. keinerlei strategische Methoden beinhalten, sondern eher auf der taktischen Ebene anwendbar sind und ebenso keine Methoden für unterschiedliche Produktionsplanungs- und -steuerungsstrategien bereitstellen. Weiterhin fehlen bei vielen dieser *Ganzheitlichen Produktionssysteme* umfassende Qualitätsmanagementsysteme, die nicht nur einzelne Aspekte der Qualitätssicherung behandeln. Häufig werden auch Fragen nach der Anbindung der Kunden und der Lieferanten nicht umfassend, sondern nur in Ausschnitten behandelt. Der Begriff *Ganzheitliches Produktionssystem* vermittelt daher einen falschen Eindruck. Um diesen zu vermeiden, wird der Begriff in der vorliegenden Arbeit nicht verwendet. Vielmehr ist ein *Schlankes Produktionssystem* ergänzend zu anderen oben genannten Systemen der Produktionsgestaltung zu betrachten.

### **Lean-Production-Methoden**

Unter dem Begriff *Lean-Production-Methoden* werden die einzelnen Methoden zusammengefasst, die in ihrer Summe und ihren Zusammenhängen das *Schlankes Produktionssystem* bilden.

### **Interdependenzen**

Mit *Interdependenzen* werden die wechselseitigen Abhängigkeiten zwischen den einzelnen *Lean-Production-Methoden* bezeichnet, die in ihren Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen, Rückkopplungen und zeitlichen Auswirkungsverzögerungen den systemischen Charakter der *Schlanken Produktionssysteme* erzeugen.

### 1.4.2 Eingrenzung des Untersuchungsbereiches

Zur Eingrenzung des Untersuchungsbereiches wird in diesem Abschnitt die Art von Unternehmen skizziert, auf die die vorliegende Arbeit fokussiert ist.

Mit der vorliegenden Arbeit sind Unternehmen angesprochen, die sich mit der Implementierung *Schlanker Produktionssysteme* beschäftigen. Hierbei wird nicht unterschieden, ob es sich um eine Ersteinführung handelt oder ob sich das Unternehmen bereits in einem Implementierungsprozess befindet. Insbesondere die Frage nach der richtigen Einführungsreihenfolge beschäftigt vor allem kleine und mittelständische Unternehmen (KMU), die mit ihren begrenzten Ressourcen keinen Spielraum haben, ihre Einführungsreihenfolge über Versuch und Erkenntnis (*trial and error*) zu generieren.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden 18 verschiedene *Lean-Production-Methoden* untersucht, die zu den gängigsten gehören und in allen bekannten *Schlanken Produktionssystemen* enthalten sind. Vor dem Hintergrund, dass das *Toyota-Produktionssystem* zur Verringerung von Variabilität und deren Auswirkungen in Prozessen ausgelegt ist, liegt der Fokus in dieser Arbeit auf Unternehmen mit einer variantenreichen Serienfertigung.

Die Arbeit befasst sich mit der Einführungsreihenfolge von *Lean-Production-Methoden* bei der Einführung *Schlanker Produktionssysteme*. Daher richtet sie sich an die planenden Abteilungen im Unternehmen, die eine Einführung auf strategischer Ebene vorbereiten.

## 1.5 Forschungsprozess und Aufbau der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in acht Kapitel, deren logischer Aufbau in Abbildung 1 dargestellt ist.

In den vorangegangenen Abschnitten wurde bereits auf die Ausgangssituation und Motivation der vorliegenden Arbeit eingegangen, auf deren Basis eine Zielformulierung erfolgte. Abgeschlossen wurde dies mit den Definitionen elementarer Begriffe der vorliegenden Arbeit sowie einer Eingrenzung des Untersuchungsbereiches.

In Kapitel 2 und 3 werden die Grundlagen der Arbeit erläutert. Dabei wird zuerst in Kapitel 2 auf die Begriffe *System* und *Modell* als Gestaltungsgrundlage eingegangen. Darauf aufbauend wird die Methode *System Dynamics* beschrieben, mit der das Modell der Arbeit erstellt ist. Anschließend wird in Kapitel 3 eine Ein-

grenzung des Untersuchungsbereichs auf 18 ausgewählte *Lean-Production-Methoden* vorgenommen. Diese werden zum Verständnis der späteren Ausführungen detailliert beschrieben.

Kapitel 4 beschäftigt sich mit dem Stand der Erkenntnisse zum konkreten Untersuchungsobjekt der vorliegenden Arbeit sowie zu den *Interdependenzen* und Einführungsreihenfolgen der *Lean-Production-Methoden*. Dieses Kapitel dient der Beschreibung existierender Ansätze sowie der Identifikation von Lücken hinsichtlich der Betrachtung von *Interdependenzen* von *Lean-Production-Methoden*.

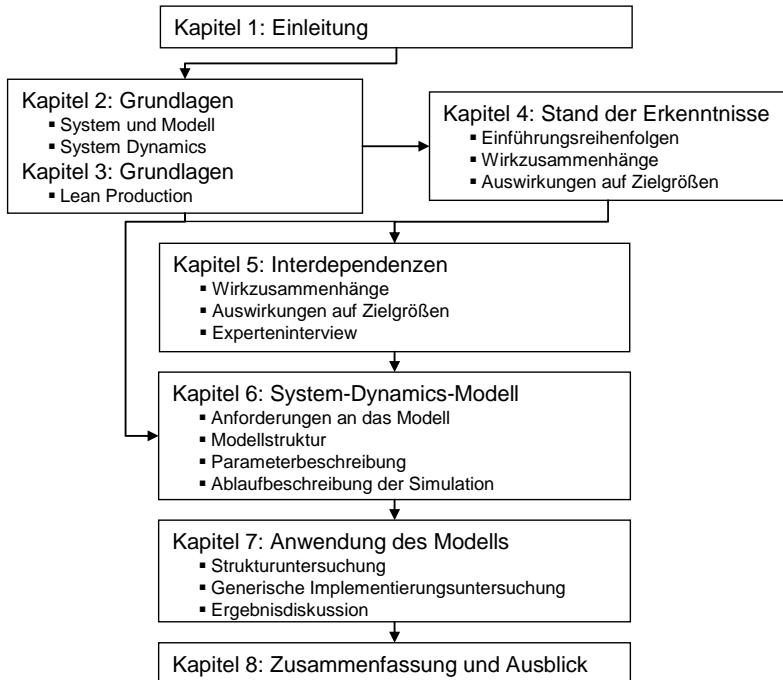


Abbildung 1: Gliederung der Arbeit

In Kapitel 5 wird auf Basis einer Literaturanalyse eine systematische Zusammenstellung der in der Literatur beschriebenen qualitativen Zusammenhänge vorgenommen. Dabei wird Bezug auf die Beschreibungen der *Lean-Production-Methoden* in Kapitel 3 sowie den Stand der Erkenntnisse in Kapitel 4 genommen. Es werden die Interdependenzen zwischen den betrachteten Elementen dargelegt und die Auswirkungen der *Lean-Production-Methoden* auf die Kenngrößen *Zeit*,

## **1 Einleitung**

---

*Qualität* und *Kosten* identifiziert. Die Ergebnisse werden zusammengefasst, hinsichtlich ihrer Konsistenz, Genauigkeit und Korrektheit überprüft sowie abschließend beschrieben.

Nachfolgend werden Experteninterviews zum Thema der *Interdependenzen* zwischen *Lean-Production-Methoden* vorgestellt. Die Ergebnisse der verschiedenen Experteninterviews werden mit den Ergebnissen der Literaturanalyse verglichen und zusammengeführt. Dabei werden die Einflüsse verschiedener Methoden auf eine Methode (n:1-Beziehung) gegeneinander gewichtet und abgewogen. Ergebnis des Kapitels 5 ist ein beschriebenes und in einer Matrix dargestelltes *Modell an Interdependenzen* zwischen den betrachteten *Lean-Production-Methoden*.

Aufbauend auf Kapitel 2 und 5 werden in Kapitel 6 die Anforderungen an ein *System-Dynamics-Modell* zur Modellierung, Simulation und Ergebnisanalyse formuliert und die Struktur des Modells wird beschrieben. Der Ablauf der Simulation wird mittels eines Flussdiagrammes erläutert und eine beispielhafte Anwendung erklärt die Funktion der Parametereinstellungen. Das theoretisch formulierte Modell wird dann in einem unterstützenden Softwarewerkzeug umgesetzt.

In Kapitel 7 wird das Modell angewendet und eine strukturelle Untersuchung anhand generischer Ausgangssituationen und generischer Implementierungsstrategien durchgeführt. Das Ergebnis ist eine zeitliche Reihenfolge der Methodenimplementierung. Es erfolgen generische Implementierungsuntersuchungen, die zu drei allgemeinen Hauptaussagen zur Einführung von *Lean-Production-Methoden* führen. Die Anwendung des Modells in Kapitel 7 zeigt auch auf, dass mit dem Simulationsmodell unterschiedliche Implementierungsvorgehensweisen und Ausgangszustände von Unternehmen eingegeben und hinterlegt werden können.

In Kapitel 8 werden die Ergebnisse zusammengefasst und es wird ein Ausblick auf darauf aufbauende Fragestellungen gegeben. Dabei werden mögliche Erweiterungen oder Detaillierungen des Simulationsmodells skizziert.

## Seminarberichte iwb

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,

Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Seminarberichte iwb sind erhältlich im Buchhandel oder beim

Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, info@utzverlag.de, www.utzverlag.de

- |   |  |
|---|--|
| 1 Innovative Montagesysteme - Anlagengestaltung, -bewertung und -überwachung<br>115 Seiten · ISBN 3-931327-01-9                                     | 25 Rationelle Nutzung der Simulationstechnik - Entwicklungstrends und Praxisbeispiele<br>152 Seiten · ISBN 3-931327-25-6                           |
| 2 Integriertes Produktmodell - Von der Idee zum fertigen Produkt<br>82 Seiten · ISBN 3-931327-02-7  | 26 Alternative Dichtungssysteme - Konzepte zur Dichtungsmontage und zum Dichtmittelauftrag<br>110 Seiten · ISBN 3-931327-26-4                      |
| 3 Konstruktion von Werkzeugmaschinen - Berechnung, Simulation und Optimierung<br>110 Seiten · ISBN 3-931327-03-5                                    | 27 Rapid Prototyping - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt<br>111 Seiten · ISBN 3-931327-27-2                             |
| 4 Simulation - Einsatzmöglichkeiten und Erfahrungsberichte<br>134 Seiten · ISBN 3-931327-04-3   | 28 Rapid Tooling - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt<br>154 Seiten · ISBN 3-931327-28-0                                 |
| 5 Optimierung der Kooperation in der Produktentwicklung<br>95 Seiten · ISBN 3-931327-05-1   | 29 Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Abschlußseminar<br>156 Seiten · ISBN 3-931327-29-9  |
| 6 Materialbearbeitung mit Laser - von der Planung zur Anwendung<br>86 Seiten · ISBN 3-931327-76-0   | 30 Nicht erschienen - wird nicht erscheinen  |
| 7 Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen<br>80 Seiten · ISBN 3-931327-77-9   | 31 Engineering Data Management (EDM) - Erfahrungsberichte und Trends<br>183 Seiten · ISBN 3-931327-31-0  |
| 8 Qualitätsmanagement - der Weg ist das Ziel<br>130 Seiten · ISBN 3-931327-78-7   | 32 Nicht erschienen - wird nicht erscheinen  |
| 9 Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Analysen und Konzepte<br>120 Seiten · ISBN 3-931327-79-5  | 33 3D-CAD - Mehr als nur eine dritte Dimension<br>181 Seiten · ISBN 3-931327-33-7  |
| 10 3D-Simulation - Schneller, sicherer und kostengünstiger zum Ziel<br>90 Seiten · ISBN 3-931327-10-8   | 34 Laser in der Produktion - Technologische Randbedingungen für den wirtschaftlichen Einsatz<br>102 Seiten · ISBN 3-931327-34-5                    |
| 11 Unternehmensorganisation - Schlüssel für eine effiziente Produktion<br>110 Seiten · ISBN 3-931327-11-6   | 35 Ablaufsimulation - Anlagen effizient und sicher planen und betreiben<br>129 Seiten · ISBN 3-931327-35-3   |
| 12 Autonome Produktionsysteme<br>100 Seiten · ISBN 3-931327-12-4  | 36 Moderne Methoden zur Montageplanung - Schlüssel für eine effiziente Produktion<br>124 Seiten · ISBN 3-931327-36-1                               |
| 13 Planung von Montageanlagen<br>130 Seiten · ISBN 3-931327-13-2  | 37 Wettbewerbsfaktor Verfügbarkeit - Produktivitätsteigerung durch technische und organisatorische Ansätze<br>95 Seiten · ISBN 3-931327-37-X       |
| 14 Nicht erschienen - wird nicht erscheinen   | 38 Rapid Prototyping - Effizienter Einsatz von Modellen in der Produktentwicklung<br>128 Seiten · ISBN 3-931327-38-8                               |
| 15 Flexible fluide Kleb/Dichtstoffe - Dosierung und Prozeßgestaltung<br>80 Seiten · ISBN 3-931327-15-9  | 39 Rapid Tooling - Neue Strategien für den Werkzeug- und Formenbau<br>130 Seiten · ISBN 3-931327-39-6  |
| 16 Time to Market - Von der Idee zum Produktionsstart<br>80 Seiten · ISBN 3-931327-16-7   | 40 Erfolgreich kooperieren in der produzierenden Industrie - Flexibler und schneller mit modernen Kooperationen<br>160 Seiten · ISBN 3-931327-40-X |
| 17 Industrierakamik in Forschung und Praxis - Probleme, Analysen und Lösungen<br>80 Seiten · ISBN 3-931327-17-5                                     | 41 Innovative Entwicklung von Produktionsmaschinen<br>146 Seiten · ISBN 3-89675-041-0  |
| 18 Das Unternehmen im Internet - Chancen für produzierende Unternehmen<br>165 Seiten · ISBN 3-931327-18-3   | 42 Stückzahlflexible Montagesysteme<br>139 Seiten · ISBN 3-89675-042-9   |
| 19 Leittechnik und Informationslogistik - mehr Transparenz in der Fertigung<br>85 Seiten · ISBN 3-931327-19-1                                       | 43 Produktivität und Verfügbarkeit ...durch Kooperation steigern<br>120 Seiten · ISBN 3-89675-043-7  |
| 20 Dezentrale Steuerungen in Produktionsanlagen - Plug & Play - Vereinfachung von Entwicklung und Inbetriebnahme<br>105 Seiten · ISBN 3-931327-20-5 | 44 Automatisierte Mikromontage - Handhaben und Positionieren von Mikrobauteilen<br>125 Seiten · ISBN 3-89675-044-5                                 |
| 21 Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Schnell zu funktionalen Prototypen<br>95 Seiten · ISBN 3-931327-21-3   | 45 Produzieren in Netzwerken - Lösungsansätze, Methoden, Praxisbeispiele<br>173 Seiten · ISBN 3-89675-045-3  |
| 22 Mikrotechnik für die Produktion - Greifbare Produkte und Anwendungspotentiale<br>95 Seiten · ISBN 3-931327-22-1                                  | 46 Virtuelle Produktion - Ablaufsimulation<br>108 Seiten · ISBN 3-89675-046-1  |
| 24 EDM Engineering Data Management<br>195 Seiten · ISBN 3-931327-24-8   |  |

- 47 Virtuelle Produktion - Prozeß- und Produktsimulation  
131 Seiten - ISBN 3-89675-047-X
- 48 Sicherheitstechnik an Werkzeugmaschinen  
106 Seiten - ISBN 3-89675-048-8
- 49 Rapid Prototyping - Methoden für die reaktionsfähige Produktentwicklung  
150 Seiten - ISBN 3-89675-049-6
- 50 Rapid Manufacturing - Methoden für die reaktionsfähige Produktion  
121 Seiten - ISBN 3-89675-050-X
- 51 Flexibles Kleben und Dichten - Produkt- & Prozeßgestaltung, Mischverbindungen, Qualitätskontrolle  
137 Seiten - ISBN 3-89675-051-8
- 52 Rapid Manufacturing - Schnelle Herstellung von Klein- und Prototypenserenien  
124 Seiten - ISBN 3-89675-052-6
- 53 Mischverbindungen - Werkstoffauswahl, Verfahrensauswahl, Umsetzung  
107 Seiten - ISBN 3-89675-054-2
- 54 Virtuelle Produktion - Integrierte Prozess- und Produktsimulation  
133 Seiten - ISBN 3-89675-054-2
- 55 e-Business in der Produktion - Organisationskonzepte, IT-Lösungen, Praxisbeispiele  
150 Seiten - ISBN 3-89675-055-0
- 56 Virtuelle Produktion - Ablaufsimulation als planungsbegleitendes Werkzeug  
150 Seiten - ISBN 3-89675-056-9
- 57 Virtuelle Produktion - Datenintegration und Benutzerschnittstellen  
150 Seiten - ISBN 3-89675-057-7
- 58 Rapid Manufacturing - Schnelle Herstellung qualitativ hochwertiger Bauteile oder Kleinserien  
169 Seiten - ISBN 3-89675-058-7
- 59 Automatisierte Mikromontage - Werkzeuge und Fügetechnologien für die Mikrosystemtechnik  
114 Seiten - ISBN 3-89675-059-3
- 60 Mechatronische Produktionsysteme - Genauigkeit gezielt entwickeln  
131 Seiten - ISBN 3-89675-060-7
- 61 Nicht erschienen - wird nicht erscheinen
- 62 Rapid Technologien - Anspruch - Realität - Technologien  
100 Seiten - ISBN 3-89675-062-3
- 63 Fabrikplanung 2002 - Visionen - Umsetzung - Werkzeuge  
124 Seiten - ISBN 3-89675-063-1
- 64 Mischverbindungen - Einsatz und Innovationspotenzial  
143 Seiten - ISBN 3-89675-064-X
- 65 Fabrikplanung 2003 - Basis für Wachstum - Erfahrungen Werkzeuge Visionen  
136 Seiten - ISBN 3-89675-065-8
- 66 Mit Rapid Technologien zum Aufschwung - Neue Rapid Technologien und Verfahren, Neue Qualitäten, Neue Möglichkeiten, Neue Anwendungsfelder  
185 Seiten - ISBN 3-89675-066-6
- 67 Mechatronische Produktionsysteme - Die Virtuelle Werkzeugmaschine: Mechatronisches Entwicklungsvergehen, Integrierte Modellbildung, Applikationsfelder  
148 Seiten - ISBN 3-89675-067-4
- 68 Virtuelle Produktion - Nutzenpotenziale im Lebenszyklus der Fabrik  
139 Seiten - ISBN 3-89675-068-2
- 69 Kooperationsmanagement in der Produktion - Visionen und Methoden zur Kooperation - Geschäftsmodelle und Rechtsformen für die Kooperation - Kooperation entlang der Wertschöpfungskette  
134 Seiten - ISBN 3-89675-069-0
- 70 Mechatronik - Strukturodynamik von Werkzeugmaschinen  
161 Seiten - ISBN 3-89675-070-4
- 71 Klebetechnik - Zerstörungsfreie Qualitätssicherung beim flexibel automatisierten Kleben und Dichten  
ISBN 3-89675-071-2 - vergriffen
- 72 Fabrikplanung 2004 Erfolgsfaktor im Wettbewerb - Erfahrungen – Werkzeuge – Visionen  
ISBN 3-89675-072-0 - vergriffen
- 73 Rapid Manufacturing Vom Prototyp zur Produktion - Erwartungen – Erfahrungen – Entwicklungen  
179 Seiten - ISBN 3-89675-073-9
- 74 Virtuelle Produktionssystemplanung - Virtuelle Inbetriebnahme und Digitale Fabrik  
133 Seiten - ISBN 3-89675-074-7
- 75 Nicht erschienen - wird nicht erscheinen
- 76 Berührungslose Handhabung - Vom Wafer zur Glaslinse, von der Kapsel zur aseptischen Ampulle  
95 Seiten - ISBN 3-89675-076-3
- 77 ERP-Systeme - Einführung in die betriebliche Praxis - Erfahrungen, Best Practices, Visionen  
153 Seiten - ISBN 3-89675-077-7
- 78 Mechatronik - Trends in der interdisziplinären Entwicklung von Werkzeugmaschinen  
155 Seiten - ISBN 3-89675-078-X
- 79 Produktionsmanagement  
267 Seiten - ISBN 3-89675-079-8
- 80 Rapid Manufacturing - Fertigungsverfahren für alle Ansprüche  
154 Seiten - ISBN 3-89675-080-1
- 81 Rapid Manufacturing - Heutige Trends – Zukünftige Anwendungsfelder  
172 Seiten - ISBN 3-89675-081-X
- 82 Produktionsmanagement - Herausforderung Variantenmanagement  
100 Seiten - ISBN 3-89675-082-8
- 83 Mechatronik - Optimierungspotenzial der Werkzeugmaschine nutzen  
160 Seiten - ISBN 3-89675-083-6
- 84 Virtuelle Inbetriebnahme - Von der Kür zur Pflicht?  
104 Seiten - ISBN 978-3-89675-084-6
- 85 3D-Erfahrungsforum - Innovation im Werkzeug- und Formenbau  
375 Seiten - ISBN 978-3-89675-085-3
- 86 Rapid Manufacturing - Erfolgreich produzieren durch innovative Fertigung  
162 Seiten - ISBN 978-3-89675-086-0
- 87 Produktionsmanagement - Schlanke im Mittelstand  
102 Seiten - ISBN 978-3-89675-087-7
- 88 Mechatronik - Vorsprung durch Simulation  
134 Seiten - ISBN 978-3-89675-088-4
- 89 RFID in der Produktion - Wertschöpfung effizient gestalten  
122 Seiten - ISBN 978-3-89675-089-1
- 90 Rapid Manufacturing und Digitale Fabrik - Durch Innovation schnell und flexibel am Markt  
100 Seiten - ISBN 978-3-89675-090-7
- 91 Robotik in der Kleinserienproduktion - Die Zukunft der Automatisierungstechnik  
ISBN 978-3-89675-091-4
- 92 Rapid Manufacturing - Ressourceneffizienz durch generative Fertigung im Werkzeug- und Formenbau  
ISBN 978-3-89675-092-1
- 93 Handhabungstechnik - Innovative Greiftechnik für komplexe Handhabungsaufgaben  
136 Seiten - ISBN 978-3-89675-093-8
- 94 iwb Seminarreihe 2009 Themengruppe Werkzeugmaschinen  
245 Seiten - ISBN 978-3-89675-094-5
- 95 Zuführtechnik - Herausforderung der automatisierten Montage!  
111 Seiten - ISBN 978-3-89675-095-2
- 96 Risikobewertung bei Entscheidungen im Produktionsumfeld - Seminar »Risiko und Chance«  
151 Seiten - ISBN 978-3-89675-096-9
- 97 Seminar Rapid Manufacturing 2010 - Innovative Einsatzmöglichkeiten durch neue Werkstoffe bei Schichtbauverfahren  
180 Seiten - ISBN 978-3-89675-097-6

- 98 Handhabungstechnik - Der Schlüssel für eine automatisierte Herstellung von Composite-Bauteilen  
260 Seiten · ISBN 978-3-89675-098-3
- 99 Abschlussveranstaltung SimuSint 2010 - Modulares Simulationsystem für das Strahlschmelzen  
270 Seiten · ISBN 978-3-89675-099-0
- 100 Additive Fertigung: Innovative Lösungen zur Steigerung der Bauteilqualität bei additiven Fertigungsverfahren  
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-4114-7
- 101 Mechatronische Simulation in der industriellen Anwendung  
91 Seiten · ISBN 978-3-8316-4149-9
- 102 Wissensmanagement in produzierenden Unternehmen  
ISBN 978-3-8316-4169-7
- 103 Additive Fertigung: Bauteil- und Prozessauslegung für die wirtschaftliche Fertigung  
ISBN 978-3-8316-4188-8
- 104 Ressourceneffizienz in der Lebensmittelkette  
ISBN 978-3-8316-4192-5
- 105 Werkzeugmaschinen: Leichter schwer zerspanen! - Herausforderungen und Lösungen für die Zerspanung von Hochleistungswerkstoffen  
120 Seiten · ISBN 978-3-8316-4217-5
- 106 Batterieproduktion - Vom Rohstoff bis zum Hochvoltspeicher  
108 Seiten · ISBN 978-3-8316-4221-2
- 107 Batterieproduktion - Vom Rohstoff bis zum Hochvoltspeicher  
150 Seiten · ISBN 978-3-8316-4249-6

## Forschungsberichte iwb

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,  
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Band 1–121, herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. J. Milberg und Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart, sind im Springer Verlag, Berlin, Heidelberg erschienen

Forschungsberichte iwb ab Band 122 sind erhältlich im Buchhandel oder beim  
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, [info@utzverlag.de](mailto:info@utzverlag.de), [www.utzverlag.de](http://www.utzverlag.de)

- 122 *Burghard Schneider*: Prozesskettenorientierte Bereitstellung nicht formstabiler Bauteile  
183 Seiten · ISBN 978-3-89675-559-9
- 123 *Bernd Goldstein*: Modellgestützte Geschäftsprozeßgestaltung in der Produktentwicklung  
170 Seiten · ISBN 978-3-89675-546-9
- 124 *Helmut E. Mößner*: Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionsysteme  
164 Seiten · ISBN 978-3-89675-585-8
- 125 *Ralf-Gunter Gräser*: Ein Verfahren zur Kompensation temperaturinduzierter Verformungen an Industrierobotern  
167 Seiten · ISBN 978-3-89675-603-9
- 126 *Hans-Jürgen Trossin*: Nutzung der Ähnlichkeitstheorie zur Modellbildung in der Produktionstechnik  
162 Seiten · ISBN 978-3-89675-614-5
- 127 *Doris Kugelman*: Aufgabenorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern  
168 Seiten · ISBN 978-3-89675-615-2
- 128 *Rolf Diesch*: Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit von Fertigungszellen  
160 Seiten · ISBN 978-3-89675-618-3
- 129 *Werner E. Lulay*: Hybrid-hierarchische Simulationsmodelle zur Koordination teilautonomer Produktionsstrukturen  
190 Seiten · ISBN 978-3-89675-620-6
- 130 *Otto Murr*: Adaptive Planung und Steuerung von integrierten Entwicklungs- und Planungsprozessen  
178 Seiten · ISBN 978-3-89675-636-7
- 131 *Michael Macht*: Ein Vorgehensmodell für den Einsatz von Rapid Prototyping  
170 Seiten · ISBN 978-3-89675-638-1
- 132 *Bruno H. Mehler*: Aufbau virtueller Fabriken aus dezentralen Partnerverbünden  
152 Seiten · ISBN 978-3-89675-645-9
- 133 *Knut Heitmann*: Sichere Prognosen für die Produktionsoptimierung mittels stochastischer Modelle  
146 Seiten · ISBN 978-3-89675-675-6
- 134 *Stefan Blessing*: Gestaltung der Materialflußsteuerung in dynamischen Produktionsstrukturen  
160 Seiten · ISBN 978-3-89675-690-9
- 135 *Can Aboy*: Numerische Optimierung multivariater mehrstufiger Prozesse am Beispiel der Hartbearbeitung von Industrierakemik  
159 Seiten · ISBN 978-3-89675-697-8
- 136 *Stefan Brandner*: Integriertes Produktdaten- und Prozeßmanagement in virtuellen Fabriken  
172 Seiten · ISBN 978-3-89675-715-9
- 137 *Arnd G. Hirschberg*: Verbindung der Produkt- und Funktionsorientierung in der Fertigung  
165 Seiten · ISBN 978-3-89675-729-6
- 138 *Alexandra Reek*: Strategien zur Fokuspositionierung beim Laserstrahl schweißen  
193 Seiten · ISBN 978-3-89675-730-2
- 139 *Khalid-Alexander Sabah*: Methodische Entwicklung störungstoleranter Steuerungen  
148 Seiten · ISBN 978-3-89675-739-5
- 140 *Klaus U. Schilfenbacher*: Konfiguration virtueller Wertschöpfungsketten in dynamischen, heterarchischen Kompetenznetzwerken  
187 Seiten · ISBN 978-3-89675-754-8
- 141 *Andreas Sprenzel*: Integrierte Kostenkalkulationsverfahren für die Werkzeugmaschinenentwicklung  
144 Seiten · ISBN 978-3-89675-757-9

- 142 *Andreas Gallasch*: Informationstechnische Architektur zur Unterstützung des Wandels in der Produktion  
150 Seiten - ISBN 978-3-89675-781-4
- 143 *Ralf Cuiper*: Durchgängige rechnergestützte Planung und Steuerung von automatisierten Montagevorgängen  
174 Seiten - ISBN 978-3-89675-783-8
- 144 *Christian Schneider*: Strukturmechanische Berechnungen in der Werkzeugmaschinenkonstruktion  
180 Seiten - ISBN 978-3-89675-789-0
- 145 *Christian Jonas*: Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen  
183 Seiten - ISBN 978-3-89675-870-5
- 146 *Ulrich Willnecker*: Gestaltung und Planung leistungsorientierter manueller Fließmontagen  
194 Seiten - ISBN 978-3-89675-891-0
- 147 *Christof Lehner*: Beschreibung des Nd:YAG-Laserstrahlweißprozesses von Magnesiumumdruckguss  
205 Seiten - ISBN 978-3-8316-0004-5
- 148 *Frank Rick*: Simulationsgestützte Gestaltung von Produkt und Prozess am Beispiel Laserstrahlschweißen  
145 Seiten - ISBN 978-3-8316-0008-3
- 149 *Michael Höhn*: Sensorgeführte Montage hybrider Mikrosysteme  
185 Seiten - ISBN 978-3-8316-0012-0
- 150 *Jörn Böhl*: Wissensmanagement im Klein- und mittelständischen Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung  
190 Seiten - ISBN 978-3-8316-0020-5
- 151 *Robert Bügel*: Prozessanalyse an spanenden Werkzeugmaschinen mit digital geregelter Antrieben  
185 Seiten - ISBN 978-3-8316-0021-2
- 152 *Stephan Dürrschmidt*: Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion  
194 Seiten - ISBN 978-3-8316-0023-6
- 153 *Bernhard Eich*: Methode zur prozesskettenorientierten Planung der Teilebereitstellung  
136 Seiten - ISBN 978-3-8316-0028-1
- 154 *Wolfgang Rudorfer*: Eine Methode zur Qualifizierung von produzierenden Unternehmen für Kompetenznetzwerke  
207 Seiten - ISBN 978-3-8316-0037-3
- 155 *Hans Meier*: Verteilte kooperative Steuerung maschinennaher Abläufe  
166 Seiten - ISBN 978-3-8316-0044-1
- 156 *Gerhard Nowak*: Informationstechnische Integration des industriellen Service in das Unternehmen  
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-0055-7
- 157 *Martin Werner*: Simulationsgestützte Reorganisation von Produktions- und Logistikprozessen  
191 Seiten - ISBN 978-3-8316-0058-8
- 158 *Bernhard Lenz*: Finite Elemente-Modellierung des Laserstrahlweißens für den Einsatz in der Fertigungsplanung  
162 Seiten - ISBN 978-3-8316-0094-6
- 159 *Stefan Grunwald*: Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung  
216 Seiten - ISBN 978-3-8316-0095-3
- 160 *Josef Gartner*: Qualitätssicherung bei der automatisierten Applikation hochviskoser Dichtungen  
165 Seiten - ISBN 978-3-8316-0096-0
- 161 *Wolfgang Zeller*: Gesamtheitliches Sicherheitskonzept für die Antriebs- und Steuerungstechnik bei Werkzeugmaschinen  
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-0100-4
- 162 *Michael Loferer*: Rechnergestützte Gestaltung von Montagesystemen  
178 Seiten - ISBN 978-3-8316-0118-9
- 163 *Jörg Fährer*: Ganzheitliche Optimierung des indirekten Metall-Lasersinterprozesses  
176 Seiten - ISBN 978-3-8316-0124-0
- 164 *Jürgen Höppner*: Verfahren zur berührungslosen Handhabung mittels leistungsfester Schallwandler  
144 Seiten - ISBN 978-3-8316-0125-7
- 165 *Hubert Götte*: Entwicklung eines Assistenzrobotersystems für die Knieendoprothetik  
258 Seiten - ISBN 978-3-8316-0126-4
- 166 *Martin Weissenberger*: Optimierung der Bewegungsdynamik von Werkzeugmaschinen im rechnergestützten Entwicklungsprozess  
210 Seiten - ISBN 978-3-8316-0138-7
- 167 *Dirk Jacob*: Verfahren zur Positionierung unterseitenstrukturierter Bauelemente in der Mikrosystemtechnik  
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0142-4
- 168 *Ulrich Roßgodeyer*: System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen  
175 Seiten - ISBN 978-3-8316-0154-7
- 169 *Robert Klingel*: Anziehverfahren für hochfeste Schraubenverbindungen auf Basis akustischer Emissionen  
164 Seiten - ISBN 978-3-8316-0174-5
- 170 *Paul Jens Peter Ross*: Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montageplanung  
144 Seiten - ISBN 978-3-8316-0191-2
- 171 *Stefan von Praun*: Toleranzanalyse nachgelegter Baugruppen im Produktentstehungsprozess  
252 Seiten - ISBN 978-3-8316-0202-5
- 172 *Florian von der Hagen*: Gestaltung kurzfristiger und unternehmensübergreifender Engineering-Kooperationen  
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-0208-7
- 173 *Oliver Kramer*: Methode zur Optimierung der Wertschöpfungskette mittelständischer Betriebe  
212 Seiten - ISBN 978-3-8316-0211-7
- 174 *Winfried Dohmen*: Interdisziplinäre Methoden für die integrierte Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme  
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0214-8
- 175 *Oliver Anton*: Ein Beitrag zur Entwicklung telepräsentierer Montagesysteme  
158 Seiten - ISBN 978-3-8316-0215-5
- 176 *Welf Broser*: Methode zur Definition und Bewertung von Anwendungsfeldern für Kompetenznetzwerke  
224 Seiten - ISBN 978-3-8316-0217-9
- 177 *Frank Breitinger*: Ein ganzheitliches Konzept zum Einsatz des indirekten Metall-Lasersinterns für das Druckgießen  
156 Seiten - ISBN 978-3-8316-0227-8
- 178 *Johann von Pieverling*: Ein Vorgehensmodell zur Auswahl von Konturfertigungsverfahren für das Rapid Tooling  
163 Seiten - ISBN 978-3-8316-0230-8
- 179 *Thomas Baudisch*: Simulationsumgebung zur Auslegung der Bewegungsdynamik des mechatronischen Systems Werkzeugmaschine  
190 Seiten - ISBN 978-3-8316-0249-0
- 180 *Heinrich Schieferstein*: Experimentelle Analyse des menschlichen Kausystems  
132 Seiten - ISBN 978-3-8316-0251-3
- 181 *Joachim Berlak*: Methodik zur strukturierten Auswahl von Auftragsabwicklungsystmen  
244 Seiten - ISBN 978-3-8316-0258-2
- 182 *Christian Meierhofer*: Konzept zur rechnergestützten Integration von Produktions- und Gebäudeplanung in der Fabrikgestaltung  
181 Seiten - ISBN 978-3-8316-0292-6
- 183 *Volker Weber*: Dynamisches Kostenmanagement in kompetenzorientierten Unternehmensnetzwerken  
230 Seiten - ISBN 978-3-8316-0330-5
- 184 *Thomas Bongardt*: Methode zur Kompensation betriebsabhängiger Einflüsse auf die Absolutgenauigkeit von Industrierobotern  
170 Seiten - ISBN 978-3-8316-0332-9

- 185 *Tim Angerer*: Effizienzsteigerung in der automatisierten Montage durch aktive Nutzung mechatronischer Produktkomponenten  
180 Seiten · ISBN 978-3-8316-0336-2
- 186 *Alexander Krüger*: Planung und Kapazitätsabstimmung stückzahlflexibler Montagesysteme  
197 Seiten · ISBN 978-3-8316-0371-8
- 187 *Matthias Meindl*: Beitrag zur Entwicklung generativer Fertigungsverfahren für das Rapid Manufacturing  
236 Seiten · ISBN 978-3-8316-0465-4
- 188 *Thomas Fusch*: Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion am Beispiel der Automobilindustrie  
190 Seiten · ISBN 978-3-8316-0467-8
- 189 *Thomas Mosandl*: Qualitätsteigerung bei automatisiertem Klebstoffauftrag durch den Einsatz optischer Konturfolgesysteme  
182 Seiten · ISBN 978-3-8316-0471-5
- 190 *Christian Patron*: Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montageplanung  
150 Seiten · ISBN 978-3-8316-0474-6
- 191 *Robert Cisek*: Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in Produktionsystemen  
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-0475-3
- 192 *Florian Auer*: Methode zur Simulation des Laserstrahl schweißens unter Berücksichtigung der Ergebnisse vorangegangener Umformsimulationen  
160 Seiten · ISBN 978-3-8316-0485-2
- 193 *Carsten Selke*: Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung  
137 Seiten · ISBN 978-3-8316-0495-1
- 194 *Markus Seefried*: Simulation des Prozessschrittes der Wärmebehandlung beim Indirekten-Metall-Lasersintern  
216 Seiten · ISBN 978-3-8316-0503-3
- 195 *Wolfgang Wagner*: Fabrikplanung für die standortübergreifende Kostenenkung bei marktnaher Produktion  
208 Seiten · ISBN 978-3-8316-0586-6
- 196 *Christopher Ulrich*: Erhöhung des Nutzungsgrades von Laserstrahlquellen durch Mehrfach-Anwendungen  
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-0590-3
- 197 *Johann Härtl*: Prozessgaseinfluss beim Schweißen mit Hochleistungsdiodenlasern  
148 Seiten · ISBN 978-3-8316-0611-5
- 198 *Bernd Hartmann*: Die Bestimmung des Personalbedarfs für den Materialfluss in Abhängigkeit von Produktionsfläche und -menge  
208 Seiten · ISBN 978-3-8316-0615-3
- 199 *Michael Schilp*: Auslegung und Gestaltung von Werkzeugen zum berührungslosen Greifen kleiner Bauteile in der Mikromontage  
180 Seiten · ISBN 978-3-8316-0631-1
- 200 *Florian Manfred Grätz*: Teilautomatische Generierung von Stromlauf- und Fluidplänen für mechatronische Systeme  
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-0643-6
- 201 *Dieter Eireneir*: Prozessmodelle zur statischen Auslegung von Anlagen für das Friction Stir Welding  
214 Seiten · ISBN 978-3-8316-0650-4
- 202 *Gerhard Volkwein*: Konzept zur effizienten Bereitstellung von Steuerungsfunktionalitäten für die NC-Simulation  
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-0668-9
- 203 *Sven Rooren*: Komplexitätsvariable Einflussgrößen für die bauteilbezogene Struktursimulation thermischer Fertigungsprozesse  
224 Seiten · ISBN 978-3-8316-0680-1
- 204 *Henning Rudolf*: Wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie  
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-0697-9
- 205 *Stella Clarke-Griebisch*: Overcoming the Network Problem in Telepresence Systems with Prediction and Inertia  
150 Seiten · ISBN 978-3-8316-0701-3
- 206 *Michael Ehrenstraßer*: Sensoreinsatz in der telepräsenten Mikromontage  
180 Seiten · ISBN 978-3-8316-0743-3
- 207 *Rainer Schack*: Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik  
260 Seiten · ISBN 978-3-8316-0748-8
- 208 *Wolfgang Sudhoff*: Methodik zur Bewertung standortübergreifender Mobilität in der Produktion  
300 Seiten · ISBN 978-3-8316-0749-5
- 209 *Stefan Müller*: Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen  
260 Seiten · ISBN 978-3-8316-0750-1
- 210 *Ulrich Kohler*: Methodik zur kontinuierlichen und kostenorientierten Planung produktionstechnischer Systeme  
246 Seiten · ISBN 978-3-8316-0753-2
- 211 *Klaus Schlickenrieder*: Methodik zur Prozessoptimierung beim automatisierten elastischen Kleben großflächiger Bauteile  
204 Seiten · ISBN 978-3-8316-0776-1
- 212 *Niklas Möller*: Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme  
260 Seiten · ISBN 978-3-8316-0778-5
- 213 *Daniel Stiel*: Simulation des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen während Verfahrerbewegungen  
226 Seiten · ISBN 978-3-8316-0779-2
- 214 *Dirk Ansorge*: Auftragsabwicklung in heterogenen Produktionsstrukturen mit spezifischen Planungsfreiraumern  
150 Seiten · ISBN 978-3-8316-0785-3
- 215 *Georg Wünsch*: Methoden für die virtuelle Inbetriebnahme automatisierter Produktionssysteme  
238 Seiten · ISBN 978-3-8316-0795-2
- 216 *Thomas Oertli*: Strukturmechanische Berechnung und Regelungssimulation von Werkzeugmaschinen mit elektromechanischen Vorschubantrieben  
194 Seiten · ISBN 978-3-8316-0798-3
- 217 *Bernd Petzold*: Entwicklung eines Operatorarbeitsplatzes für die telepräseste Mikromontage  
234 Seiten · ISBN 978-3-8316-0805-8
- 218 *Loucas Papadakis*: Simulation of the Structural Effects of Welded Frame Assemblies in Manufacturing Process Chains  
260 Seiten · ISBN 978-3-8316-0813-3
- 219 *Mathias Mörtl*: Ressourcenplanung in der variantenreichen Fertigung  
228 Seiten · ISBN 978-3-8316-0820-1
- 220 *Sebastian Weig*: Konzept eines integrierten Risikomanagements für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten  
252 Seiten · ISBN 978-3-8316-0823-2
- 221 *Tobias Hornfeck*: Laserstrahlbiegen komplexer Aluminiumstrukturen für Anwendungen in der Luftfahrtindustrie  
150 Seiten · ISBN 978-3-8316-0826-3
- 222 *Hans Egermeier*: Entwicklung eines Virtual-Reality-Systems für die Montagesimulation mit kraftrückkoppelnden Handschuhen  
230 Seiten · ISBN 978-3-8316-0833-1
- 223 *Matthäus Sigl*: Ein Beitrag zur Entwicklung des Elektronenstrahlsintern  
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-0841-6
- 224 *Mark Harfenssteller*: Eine Methodik zur Entwicklung und Herstellung von Radiumtargets  
198 Seiten · ISBN 978-3-8316-0849-2
- 225 *Jochen Werner*: Methode zur roboterbasiereten förderbandsynchronen Fließmontage am Beispiel der Automobilindustrie  
210 Seiten · ISBN 978-3-8316-0857-7
- 226 *Florian Hagemann*: Ein formflexibles Werkzeug für das Rapid Tooling beim Spritzgießen  
244 Seiten · ISBN 978-3-8316-0861-4

- 227 *Haitham Rashidy*: Knowledge-based quality control in manufacturing processes with application to the automotive industry  
226 Seiten · ISBN 978-3-8316-0862-1
- 228 *Wolfgang Vogl*: Eine interaktive räumliche Benutzerschnittstelle für die Programmierung von Industrierobotern  
248 Seiten · ISBN 978-3-8316-0869-0
- 229 *Sonja Schedl*: Integration von Anforderungsmanagement in den mechatronischen Entwicklungsprozess  
176 Seiten · ISBN 978-3-8316-0874-4
- 230 *Andreas Trautmann*: Bifocal Hybrid Laser Welding - A Technology for Welding of Aluminium and Zinc-Coated Steels  
314 Seiten · ISBN 978-3-8316-0878-8
- 231 *Patrick Neise*: Managing Quality and Delivery Reliability of Suppliers by Using Incentives and Simulation Models  
226 Seiten · ISBN 978-3-8316-0878-2
- 232 *Christian Habicht*: Einsatz und Auslegung zeitfensterbasierter Planungssysteme in überbetrieblichen Wertschöpfungsketten  
204 Seiten · ISBN 978-3-8316-0891-1
- 233 *Michael Spitzweg*: Methode und Konzept für den Einsatz eines physikalischen Modells in der Entwicklung von Produktionsanlagen  
180 Seiten · ISBN 978-3-8316-0931-4
- 234 *Ulrich Munzert*: Bahnanpassalgorithmen für das robotergestützte Remote-Laserstrahlschweißen  
176 Seiten · ISBN 978-3-8316-0948-2
- 235 *Georg Völlner*: Röhreleinschweißen mit Schwerlast-Industrierobotern  
232 Seiten · ISBN 978-3-8316-0955-0
- 236 *Nils Müller*: Modell für die Beherrschung und Reduktion von Nachfrageschwankungen  
270 Seiten · ISBN 978-3-8316-0992-5
- 237 *Franz Decker*: Unternehmensspezifische Strukturierung der Produktion als permanente Aufgabe  
180 Seiten · ISBN 978-3-8316-0996-3
- 238 *Christian Lau*: Methodik für eine selbstoptimierende Produktionssteuerung  
204 Seiten · ISBN 978-3-8316-4012-6
- 239 *Christoph Rimpau*: Wissensbasierte Risikobewertung in der Angebotskalkulation für hochgradig individualisierte Produkte  
268 Seiten · ISBN 978-3-8316-4015-7
- 240 *Michael Loy*: Modularer Vibrationswendelförderer zur flexiblen Teilezuführung  
190 Seiten · ISBN 978-3-8316-4027-0
- 241 *Andreas Eursch*: Konzept eines immersiven Assistenzsystems mit Augmented Reality zur Unterstützung manueller Aktivitäten in radioaktiven Produktionsumgebungen  
226 Seiten · ISBN 978-3-8316-4029-4
- 242 *Florian Schwarz*: Simulation der Wechselwirkungen zwischen Prozess und Struktur bei der Drehbearbeitung  
282 Seiten · ISBN 978-3-8316-4030-0
- 243 *Martin Georg Prasch*: Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in die variantenreiche Serienmontage  
261 Seiten · ISBN 978-3-8316-4033-1
- 244 *Johannes Schipf*: Adaptive Montagesysteme für hybride Mikrosysteme unter Einsatz von Telepräzisenz  
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-4063-8
- 245 *Stefan Lutzmann*: Beitrag zur Prozessbeherrschung des Elektronenstrahlenschmelzens  
242 Seiten · ISBN 978-3-8316-4070-6
- 246 *Gregor Branner*: Modellierung transienter Effekte in der Struktursimulation von Schichtbauverfahren  
230 Seiten · ISBN 978-3-8316-4071-3
- 247 *Josef Ludwig Zimmermann*: Eine Methodik zur Gestaltung berührungsloser Handhabungssysteme  
186 Seiten · ISBN 978-3-8316-4091-1
- 248 *Clemens Pörnbacher*: Modellgetriebene Entwicklung der Steuerungssoftware automatisierter Fertigungssysteme  
280 Seiten · ISBN 978-3-8316-4108-6
- 249 *Alexander Lindworsky*: Teilautomatische Generierung von Simulationsmodellen für den entwicklungsbegleitenden Steuerungstest  
294 Seiten · ISBN 978-3-8316-4125-3
- 250 *Michael Mauderer*: Ein Beitrag zur Planung und Entwicklung von rekonfigurierbaren mechatronischen Systemen – am Beispiel von starren Fertigungssystemen  
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-4126-0
- 251 *Roland Mark*: Qualitätsbewertung und -regelung für die Fertigung von Karosserieteilen in Presswerkzeugen auf Basis Neuronaler Netze  
228 Seiten · ISBN 978-3-8316-4127-7
- 252 *Florian Reichl*: Methode zum Management der Kooperation von Fabrik- und Technologieplanung  
224 Seiten · ISBN 978-3-8316-4128-4
- 253 *Paul Gebhard*: Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen bei Anwendung für das Röhreleinschweißen  
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-4129-1
- 254 *Michael Heinz*: Modellunterstützte Auslegung berührungsloser Ultraschallgreifsysteme für die Mikrosystemtechnik  
302 Seiten · ISBN 978-3-8316-4147-5
- 255 *Pascal Krebs*: Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten  
244 Seiten · ISBN 978-3-8316-4156-7
- 256 *Gerhard Straßer*: Greiftechnologie für die automatisierte Handhabung von technischen Textilien in der Faserverbundfertigung  
290 Seiten · ISBN 978-3-8316-4161-1
- 257 *Frédéric-Felix Lacour*: Modellbildung für die physikbasierte Virtuelle Inbetriebnahme materialflusintensiver Produktionsanlagen  
222 Seiten · ISBN 978-3-8316-4162-8
- 258 *Thomas Hense*: Modellbasierter Entwicklungsprozess für Automatisierungslösungen  
184 Seiten · ISBN 978-3-8316-4167-3
- 259 *Sherif Zaidan*: A Work-Piece Based Approach for Programming Cooperating Industrial Robots  
212 Seiten · ISBN 978-3-8316-4175-8
- 260 *Hendrik Schellmann*: Bewertung kundenspezifischer Mengenflexibilität im Wertschöpfungsnetz  
224 Seiten · ISBN 978-3-8316-4189-5
- 261 *Marwan Radi*: Workspace scaling and haptic feedback for industrial telepresence and teleaction systems with heavy-duty teleoperators  
172 Seiten · ISBN 978-3-8316-4195-6
- 262 *Marcus Ruhstorfer*: Röhreleinschweißen von Rohren  
206 Seiten · ISBN 978-3-8316-4197-0
- 263 *Rüdiger Daub*: Erhöhung der Nahttiefe beim Laserstrahl-Wärmeleitungsschweißen von Stählen  
182 Seiten · ISBN 978-3-8316-4199-4
- 264 *Michael Ott*: Multimaterialverarbeitung bei der additiven strahl- und pulverbasierten Fertigung  
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-4201-4
- 265 *Martin Ostgathe*: System zur produktbasierten Steuerung von Abläufen in der auftragsbezogenen Fertigung und Montage  
278 Seiten · ISBN 978-3-8316-4206-9
- 266 *Imke Nora Kellner*: Materialsysteme für das pulverbasierte 3D-Drucken  
208 Seiten · ISBN 978-3-8316-4223-6
- 267 *Florian Oefele*: Remote-Laserstrahlschweißen mit brillanten Laserstrahlquellen  
238 Seiten · ISBN 978-3-8316-4224-3
- 268 *Claudia Anna Ehinger*: Automatisierte Montage von Faserverbund-Vorformlingen  
252 Seiten · ISBN 978-3-8316-4233-5

- 269 *Tobias Zeilinger*: Laserbasierte Bauteillagebestimmung bei der Montage optischer Mikrokomponenten  
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-4234-2
- 270 *Stefan Krug*: Automatische Konfiguration von Robotersystemen (Plug&Produce)  
208 Seiten · ISBN 978-3-8316-4243-4
- 271 *Marc Lotz*: Erhöhung der Fertigungsgenauigkeit beim Schwunggrad-Reibschweißen durch modellbasierte Regelungsverfahren  
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-4245-8
- 272 *William Brice Tekouo Moutchiho*: A New Programming Approach for Robot-based Flexible Inspection systems  
232 Seiten · ISBN 978-3-8316-4247-2
- 273 *Matthias Waibel*: Aktive Zusatzsysteme zur Schwingungsreduktion an Werkzeugmaschinen  
158 Seiten · ISBN 978-3-8316-4250-2
- 274 *Christian Escher*: Maschinenspezifische Erhöhung der Prozessfähigkeit in der additiven Fertigung  
216 Seiten · ISBN 978-3-8316-4270-0
- 275 *Florian Aull*: Modell zur Ableitung effizienter Implementierungsstrategien für Lean-Production-Methoden  
270 Seiten · ISBN 978-3-8316-4283-0