wbk
Institut für Produktionstechnik

Forschungsberichte aus dem
wbk Institut für Produktionstechnik
Universität Karlsruhe (TH)

Hrsg.: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer
Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza
Dr.-Ing. Christian Munzinger
Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze

Kathrin Peter

Bewertung und Optimierung der Effektivität von Lean Methoden in der Kleinserienproduktion

Band 151

Universität Karlsruhe (TH)
Forschungsuniversität • gegründet 1825

wbk
Institut für Produktionstechnik

Bewertung und Optimierung der Effektivität von Lean Methoden in der Kleinserienproduktion

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Ingenieurwissenschaften

von der Fakultät für Maschinenbau

der Universität Karlsruhe (TH)

genehmigte

Dissertation

von

Kathrin Peter

aus Saarbrücken

Tag der mündlichen Prüfung:	28. September 2009
Hauptreferent:	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer
1. Korreferent:	Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis
2. Korreferent:	Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza

Universität Karlsruhe (TH)
Forschungsuniversität • gegründet 1825

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.: Karlsruhe, Univ., Diss., 2009

Copyright Shaker Verlag 2009
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-8713-9
ISSN 0724-4967

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

wbk
Institut für Produktionstechnik

Vorwort des Herausgebers

Die schnelle und effiziente Umsetzung innovativer Technologien wird vor dem Hintergrund der Globalisierung der Wirtschaft der entscheidende Wirtschaftsfaktor für produzierende Unternehmen. Universitäten können als "Wertschöpfungspartner" einen wesentlichen Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit der Industrie leisten, in dem sie wissenschaftliche Grundlagen sowie neue Methoden und Technologien erarbeiten und aktiv den Umsetzungsprozess in die praktische Anwendung unterstützen.

Vor diesem Hintergrund soll im Rahmen dieser Schriftenreihe über aktuelle Forschungsergebnisse des Instituts für Produktionstechnik (wbk) der Universität Karlsruhe (TH) berichtet werden. Unsere Forschungsarbeiten beschäftigen sich sowohl mit der Leistungssteigerung von Fertigungsverfahren und zugehörigen Werkzeugmaschinen- und Handhabungstechnologien als auch mit der ganzheitlichen Betrachtung und Optimierung des gesamten Produktionssystems. Hierbei werden jeweils technologische wie auch organisatorische Aspekte betrachtet.

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer
Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza
Dr.-Ing. Christian Munzinger
Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze

Vorwort des Verfassers

Die vorliegende wissenschaftliche Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Produktionstechnik (wbk) der Universität Karlsruhe (TH).

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer für die Übernahme des Hauptreferats. Er motivierte mich zu dem spannenden Thema und hat mir wesentliche konstruktive Hilfestellungen gegeben. Weiterhin danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis für sein entgegengebrachtes Interesse und die Übernahme des Korreferats.

Ein allerherzliches Dankeschön richte ich an Frau Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza, die mich während der gesamten Institutszeit in freundschaftlichem Verhältnis gefordert und gleichsam gefördert hat. Die anregenden Diskussionen und ihre Überzeugung, die pragmatische Thematik wissenschaftlich ergründen zu können, gaben mir wichtigen Antrieb.

Ich danke allen Kolleginnen und Kollegen am wbk und insbesondere der gesamten PRO für die tolle freundschaftliche Arbeitsatmosphäre, vor allem meinen ehemaligen Bürokollegen Andreas Stepping und Jörg Ude. Zudem bedanke ich mich bei allen Studentinnen und Studenten, die mich unterstützten und ohne deren Fleiß, Ideen und eigene Begeisterung diese Arbeit nicht in der Form entstanden wäre.

Für das Korrekturlesen der Arbeit und die nützlichen Hinweise danke ich herzlich Tom Schneider und Oliver Clanget.

Zu ganz besonderem Dank bin ich meinen Eltern und meinem Bruder verpflichtet, die mir zu jeder Zeit Rückhalt gegeben, Entscheidungen nie angezweifelt und oft für erfrischende Ablenkung sorgten.

Danke Uwe! ☺

Karlsruhe, Oktober 2009 Kathrin Peter

wbk
Institut für Produktionstechnik

Abstract

Even though Lean methods are successfully applied by large companies, their introduction is difficult in a small series production as these methods have a different effect on production performance if conditions are more strongly marked by uncertainties. Interdependencies between Lean methods and the behavior of production systems are often only qualitatively known, and it is difficult to predict the quantitative improvement potential of relevant production figures.
Against this context the dissertation aims to evaluate and optimize the effectiveness of Lean methods in a small series production on the basis of quantified interdependencies.
First, a theoretical structure of interdependencies is set up for Lean methods, making the qualitative and quantitative interdependencies between Lean methods and the relevant influencing factors, production figures and target figures of a production system transparent. It highlights the levers required for a systematic increase of the production performance. Based on the results, a simulation-based methodology is developed which will be used to quantify the effect of Lean methods on individual small series productions and to optimize them with regards to a multi-criteria target system. The quantified interdependencies will then be used to derive a detailed action plan for the efficient implementation of the examined Lean methods to a small series production in order to achieve pre-defined targets.
The evaluation methodology allows for the quantitative potentials of individual Lean methods and, in particular, for different combinations of methods to be optimized and predicted for individual small series productions. It serves, therefore, as a decision-making support for the implementation of Lean methods. A successful application is demonstrated by two examples from industry.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis i

Abkürzungsverzeichnis iv

1 Einleitung 1

1.1 Motivation und Problemstellung 1

1.2 Zielsetzung 3

1.3 Aufbau der Arbeit 4

2 Grundlagen und Stand der Wissenschaft und Praxis 6

2.1 Das Produktionssystem als Kern des Unternehmens 6

2.1.1 Einflüsse und Unsicherheiten in Produktionssystemen 7

2.1.2 Anforderungen und Merkmale der Kleinserienproduktion 8

2.1.3 Bewertungsgrößen der Leistungsfähigkeit eines Produktionssystems 10

2.2 Lean Methoden in Produktionssystemen 13

2.2.1 Ganzheitliche Produktionssysteme 14

2.2.2 Einsatz von Lean Methoden 17

2.2.3 Auswahl und Einführung von Lean Methoden 23

2.3 Wirkzusammenhänge in komplexen Systemen 28

2.3.1 Grundlagen der Systemtechnik 28

2.3.2 Klassifizierung von Wirkzusammenhängen 29

2.3.3 Darstellung von Wirkzusammenhängen mittels System Dynamics 31

2.3.4 Ansätze zur Darstellung der Wirkzusammenhänge von Lean Methoden in Produktionssystemen 33

2.4 Simulationsgestützte Analyse und Optimierung 37

2.4.1 Grundlagen der ereignisorientierten Ablaufsimulation 38

2.4.2 Modellierung und Analyse von Lean Methoden 41

2.4.3 Simulationsgestützte Optimierung von Produktionssystemen 42

2.5 Defizite des aktuellen Standes der Wissenschaft und Praxis 45

3 Lösungsansatz 47

3.1 Anforderungen an eine Methodik zur Bewertung und Optimierung von Lean Methoden in der Kleinserienproduktion 47

3.2 Lösungsansatz zur Entwicklung der Methodik 48

4 Theoretisches Wirkgefüge von Lean Methoden in Produktionssystemen 52
4.1 Ausgewählte quantifizierbare Lean Methoden und deren Stellgrößen 53
4.1.1 Kanban- und ConWiP-System 53
4.1.2 Produktionsnivellierung 56
4.1.3 Single-Minute-Exchange-of-Die 58
4.1.4 Total Quality Management 60
4.1.5 Total Productive Maintenance 61
4.2 Einflussfaktoren der Kleinserienproduktion in Abhängigkeit der Lean Methoden 63
4.2.1 Relevante Einflussfaktoren 63
4.2.2 Geeignete Lean Methoden hinsichtlich der Einflussfaktoren 66
4.3 Leistungskenngrößen zur Bewertung von Lean Methoden 67
4.3.1 Bedeutende Zielgrößen des Produktionssystems 68
4.3.2 Zu erfassende Kennzahlen des Produktionssystems 70
4.4 Wirkungsorientierte Analyse von Lean Methoden 72
4.4.1 Qualitatives Wirkgefüge von Einflussfaktoren, Kennzahlen und Zielgrößen 72
4.4.2 Vorgehensweise der wirkungsorientierten Analyse 74
4.4.3 Ergebnisse für die ausgewählten Lean Methoden 77
5 Methodik zur Bewertung und Optimierung von Lean Methoden 85
5.1 Phase 1: Analyse des Produktionssystems 86
5.1.1 Auswahl des zu untersuchenden Produktionsbereichs 86
5.1.2 Bildung von Prozesstypen 87
5.1.3 Durchführung einer Wertstromanalyse 88
5.1.4 Ermittlung der notwendigen Modelldaten 89
5.1.5 Kategorisierung des Produktionsbereichs nach Einflussfaktoren 90
5.2 Phase 2: Erstellung und Verifikation des Referenzmodells 90
5.2.1 Modellierung des Produktionsbereichs in Plant Simulation® 90
5.2.2 Verifikation und Validierung des Referenzmodells 91
5.3 Phase 3: Auswahl und Abbildung der zu untersuchenden Lean Methoden 93
5.3.1 Auswahl der Lean Methoden 93
5.3.2 Implementierung der Lean Methoden in Plant Simulation® 94
5.4 Phase 4: Simulationsgestützte Analyse und Optimierung ausgewählter Lean Methoden in der Kleinserienproduktion 98
5.4.1 Erstellung eines Experimentenplans 99

5.4.2 Sensitivitätsanalyse der einzelnen Lean Methoden 101
5.4.3 Optimierungsstudien von Methoden-Kombinationen 105
5.5 Phase 5: Interpretation der Ergebnisse 109
5.5.1 Erkenntnisse aus der Sensitivitätsanalyse 110
5.5.2 Erkenntnisse aus den Optimierungsstudien 111
5.5.3 Erstellung eines Handlungsplans zur effizienten Einführung der Lean Methoden 112
6 Exemplarische Anwendung der Methodik in der Praxis 115
6.1 Fallbeispiel 1: Spann- und Greiftechnik 115
6.1.1 Phase 1: Analyse des Produktionssystems 116
6.1.2 Phase 2: Erstellung und Verifikation des Referenzmodells 118
6.1.3 Phase 3: Auswahl und Abbildung der Lean Methoden 120
6.1.4 Phase 4: Simulationsgestützte Analyse und Optimierung ausgewählter Lean Methoden in der Kleinserienproduktion 122
6.1.5 Phase 5: Interpretation der Ergebnisse 129
6.2 Fallbeispiel 2: Werkzeugbau 131
6.2.1 Phase 1: Analyse des Produktionssystems 131
6.2.2 Phase 2: Erstellung und Verifikation des Referenzmodells 133
6.2.3 Phase 3: Auswahl und Abbildung der Lean Methoden 134
6.2.4 Phase 4: Simulationsgestützte Analyse und Optimierung ausgewählter Lean Methoden in der Kleinserienproduktion 137
6.2.5 Phase 5: Interpretation der Ergebnisse 144
7 Diskussion der entwickelten Methodik und Ausblick 145
7.1 Nutzen und Grenzen der Methodik 146
7.2 Erkenntnisse zur Einführung von Lean Methoden in der Kleinserienproduktion 149
7.3 Ausblick auf weiterführende Forschungsarbeiten 151
8 Zusammenfassung 153
Literaturverzeichnis I
Abbildungsverzeichnis XIX
Anhang XXII

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Begriff
#	Anzahl
Ø	Durchschnitt
α	Sicherheitsfaktor
A	Abhängigkeitsgrad
AT	Arbeitstag
AV	Arbeitsvorbereitung
AZ	Tägliche Arbeitszeit
b	Anwendungsfaktor
B_M / B_s	Meldebestand / Sicherheitsbestand
BSC	Balanced Scorecard
BZ oder t_e	Bearbeitungszeit
ConWiP	Constant-Work-in-Process
DIN	Deutsches Institut für Normung
DLZ	Durchlaufzeit
DoE	Design of Experiments
EPEI	Every-Part-Every-Interval
FIFO	First-In-First-Out
FTT	First-Time-Through
g	Gewichtungsfaktor
GPS	Ganzheitliches Produktionssystem
h	Stunde(n)
I	Intensität
IfM	Institut für Mittelstandsforschung
JIS	Just-In-Sequence
JIT	Just-In-Time
K	Kundentakt
KB	Kundenbedarf pro Jahr
Kap.	Kapitel
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KPI	Key Performance Indicator
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess

LF	Leistungsfähigkeit
LG	Losgröße
LM	Lean Methode
min	Minute(n)
MTBF	Mean-time-between-failure
MTTR	Mean-time-to-repair
OEE	Overall Equipment Effectiveness
PDCA	Plan-Do-Check-Act (Deming-Zyklus)
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
PT	Prozesstyp
R	Referenzwert
RZ oder t_r	Rüstzeit
S	Stellgröße
SMED	Single-Minute-Exchange-of-Die
SP	Stellparameter
St	Stück
TPM	Total Productive Maintenance
TPS	Toyota Produktionssystem
TQM	Total Quality Management
V	geplante Verbrauchsmenge
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
W	Wirkindex
WBZ	Wiederbeschaffungszeit
WE	Wareneingang
WIP	Work-in-process
WK	Wirkkette
WSA	Wertstromanalyse
WZ	Wirkzusammenhang
Z	Zielgröße
ZE	Zeiteinheit
ZF	Zielfunktion