



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Antonio Kreß

Methodik zur Konfiguration von Lernfabriken für die schlanke Produktion

**Schriftenreihe des PTW
„Innovation Fertigungstechnik“**

Herausgeber
Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele
Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich
Prof. Dr.-Ing. Matthias Weigold

PTW
TU DARMSTADT

Methodik zur Konfiguration von Lernfabriken für die schlanke Produktion

Vom Fachbereich Maschinenbau
an der Technischen Universität Darmstadt

zur Erlangung des Grades eines Doktor-Ingenieurs
(Dr.-Ing.)

eingereichte

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

vorgelegt von

Antonio Kreß, M. Sc.

aus Fulda

Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. techn. Christian Ramsauer
Tag der Einreichung:	18. Mai 2022
Tag der mündlichen Prüfung:	02. August 2022

Darmstadt 2022
D17

Schriftenreihe des PTW: "Innovation Fertigungstechnik"

Antonio Kreß

**Methodik zur Konfiguration von Lernfabriken
für die schlanke Produktion**

D 17 (Diss. TU Darmstadt)

Shaker Verlag
Düren 2022

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.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2022

Copyright Shaker Verlag 2022

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8804-5

ISSN 1864-2179

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort des Herausgebers

Die effiziente Produktion kundenindividueller Produkte, die Resilienz gegenüber Störungen sowie der Wandel hin zu einer klimaneutralen Produktion stellen nur einige Herausforderungen für produzierende Unternehmen dar. Zur Entwicklung der hierfür notwendigen Kompetenzen der Beschäftigten eignen sich Lernfabriken. Diese stellen in Anlehnung an reale Fabriken authentische Produktionsumgebungen dar, die zur Weiterbildung, Lehre und Forschung genutzt werden. In Lernfabriken können Lernende neues Wissen erwerben, praxisnah anwenden und so vertiefen, dass sie es erfolgreich auf neue Problemstellungen – bspw. im eigenen Unternehmen – übertragen können. Weltweit nutzen Forschungsinstitute und Unternehmen daher vermehrt Lernfabriken.

Für die Gestaltung von Lernfabriken im Sinne einer erfolgreichen Kompetenzvermittlung ist es ausschlaggebend, wie diese konfiguriert werden, d. h. welche Fabrikelemente ausgewählt werden. Die Auswahl der Fabrikelemente bestimmt die Leistungsfähigkeit sowie die künftigen Einsatzpotenziale des Lernsystems. Dabei sind jedoch i. d. R. Budget- und Flächenrestriktionen zu beachten. In den bisherigen Gestaltungsansätzen zu Lernfabriken wird jedoch nicht beschrieben, wie Fabrikelemente nutzenoptimal unter der gleichzeitigen Beachtung von Kosten- und Flächenaspekten auszuwählen sind. Dies gilt übrigens auch für die Planungsansätze für industrielle Fabriken.

Im Rahmen der vorliegenden Dissertation wurde daher eine Methodik entwickelt, die es ermöglicht, Lernfabriken mithilfe eines Optimierungsmodells unter der Beachtung von Restriktionen nutzenoptimal zu konfigurieren. Die Anwendung der Methodik wird detailliert beschrieben und durch ein software-basiertes Konfigurationssystem erleichtert. Ihre Validierung erfolgte in drei Fallstudien, die unterschiedliche Planungsfälle in Unternehmen und Forschungseinrichtungen darstellen. Die Evaluation dieser Anwendungsfälle zeigte, dass die Methodik die gestellten Anforderungen erfüllt und einen klaren Mehrwert gegenüber bisherigen Ansätzen aufzeigt, indem sie es u. a. erlaubt, Kosten- und Nutzenzuwächse gegenüberzustellen. So gelingt es mithilfe der Methodik nun, vorhandene Budgets und Flächen bei der Planung von (Lern-)fabriken nutzenoptimal zu beachten.

Vorwort des Autors

Die vorliegende Forschungsarbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) der Technischen Universität Darmstadt. Auf vielfältigste Art und Weise habe ich während der Erstellung dieser Arbeit Unterstützung erhalten, für die ich mich hier bei den einzelnen Personen bedanken möchte.

Mein besonderer Dank gilt zunächst Herrn Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich für die professionelle Betreuung der Arbeit. Die vielen fachlichen Diskussionen und kritischen Betrachtung während der Entstehung dieser Forschungsarbeit schätze ich rückblickend als sehr wertvoll ein. Auch für das entgegengebrachte Vertrauen und die vielfältigen Freiheiten während meiner Tätigkeit möchte ich mich bei der Institutsleitung bedanken. Herrn Prof. Dr.-Ing. Christian Ramsauer der TU Graz danke ich für die bereitwillige Übernahme des Korreferats und für die gründliche Durchsicht dieser Forschungsarbeit.

Ermöglicht wurde die vorliegende Forschungsarbeit vor allem durch die Anwendung und Evaluation in Unternehmen und Forschungsinstituten. Besonderen Dank gilt dabei Frau Nicole Lieb, Frau Verena Lorenz, Herrn Olaf Girschikovski und Herrn Mario Fähmann der DB Netz AG. Allen weiteren Expert*innen und Ansprechpartnern aus der Forschung und Industrie möchte ich ebenfalls danken für die Möglichkeit zur Evaluation der Methodik, der Teilnahme an Umfragen und Experteninterviews sowie kritischen Hinweisen.

Nicht zuletzt hat mich die vertrauensvolle Zusammenarbeit mit Kolleginnen und Kollegen der Forschungsgruppe „Center für industrielle Produktivität“ sowie des gesamten Instituts motiviert und erfüllt. Daher möchte ich mich auch bei meiner Forschungsgruppe bedanken, insbesondere Frau Dr.-Ing. Judith Enke, Herrn Dr.-Ing. Rupert Glass, Frau Astrid Weyand, Herrn Jonas Barth, Herrn Thomas Riemann sowie Herrn Dr.-Ing. Michael Tisch, die mich durch fachliche Diskussionen unterstützt haben. Auch danke ich dem Support-Team des Instituts, die während meiner Tätigkeit vielfältige Aufgaben aus den Bereichen Media, IT, Buchführung und Organisation übernahmen.

Der persönliche Dank gilt meiner Familie, die mir über die gesamte Zeit den Rücken freigehalten und mich ermutigt hat. Aus diesem Grund danke ich meinen Eltern für das entgegengesetzte Vertrauen in meinen Ausbildungsweg und den bindungslosen Rückhalt. Abschließend danke ich meiner Freundin Svenja, die das Lektorat dieser Forschungsarbeit übernommen hat sowie mit ihrer Unterstützung und ihrem Verständnis die Fertigstellung möglich machte.

INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	IX
Symbolverzeichnis	XII
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation und Problemstellung	1
1.2 Ziel der Forschungsarbeit	2
1.3 Aufbau der Forschungsarbeit	3
2 Stand der Forschung und Praxis	7
2.1 Fabrikplanung	7
2.1.1 Begriffsdefinitionen	7
2.1.2 Ziele der Fabrikplanung	9
2.1.3 Phasen der Fabrikplanung	11
2.1.4 Auswahl von Fabrikelementen	13
2.1.5 Layoutplanung	17
2.2 Schlanke Produktionssysteme	21
2.2.1 Grundlagen der schlanken Produktion	21
2.2.2 Gestaltungsprinzipien für schlanke Produktionssysteme	22
2.2.3 Weiterentwicklung der schlanken Produktion durch Industrie 4.0- 25	
2.3 Lernfabriken zur Kompetenzentwicklung	28
2.3.1 Kompetenzentwicklung in der Produktion	29
2.3.2 Konzept Lernfabrik	31
2.3.3 Gestaltungsansätze für Lernfabriken	37
2.4 Zwischenfazit	44
3 Zielsetzung und Forschungsmethodik	47
3.1 Forschungsziele	47
3.2 Anforderungen an die Forschungsmethodik	48
3.2.1 Inhaltliche Anforderungen	48
3.2.2 Formale Anforderungen	48

3.3 Abgrenzung des Untersuchungsbereichs	50
3.4 Forschungskonzeption	51
4 Optimierungsmodell zur Konfiguration von Lernfabriken	55
4.1 Herleitung des Optimierungsmodells	55
4.1.1 Entscheidungsvariablen	55
4.1.2 Zielfunktion	57
4.1.3 Restriktionen	57
4.2 Lösung des Optimierungsmodells	64
4.2.1 Lösung des MMKP	64
4.2.2 Lösung des FCP	69
4.3 Zwischenfazit	72
5 Vorgehen zur Konfiguration von Lernfabriken	73
5.1 Ziel und Struktur des Vorgehens	73
5.2 Vorgehensschritt I: Ermittlung von Anforderungen an die Konfiguration	74
5.2.1 Ermittlung der Anforderungen	74
5.2.2 Strukturierung der Anforderungen	76
5.3 Vorgehensschritt II: Ermittlung von Konfigurationsalternativen	77
5.3.1 Produkte und Dienstleistungen	77
5.3.2 Fabrikbereiche	80
5.3.3 Konfigurationsalternativen und Fabrikelemente	81
5.4 Vorgehensschritt III: Bewertung der Konfigurationsalternativen	83
5.4.1 Bewertungsmethode	83
5.4.2 Bewertungskriterien	87
5.5 Vorgehensschritt IV: Auswahl und Analyse	93
5.5.1 Auswahl der Konfigurationsalternativen	94
5.5.2 Analyse der ermittelten Konfiguration	94
5.6 Zwischenfazit	96
6 Softwarebasiertes Konfigurationssystem für Lernfabriken	99
6.1 Konzeption	99
6.2 Umsetzung als digitale Applikation	104
6.3 Zwischenfazit	110
7 Anwendung und Evaluation	111

7.1 Anwendung der Methodik	111
7.1.1 Anwendung im Unternehmen	112
7.1.2 Anwendung im universitären Umfeld	116
7.1.3 Anwendung zur Rekonfiguration	118
7.2 Evaluation	120
7.2.1 Evaluationskonzept	120
7.2.2 Evaluationsergebnisse	125
7.3 Diskussion	129
8 Zusammenfassung und Ausblick	133
8.1 Zusammenfassung	133
8.2 Ausblick	135
9 Literaturverzeichnis	137
Anhang	163
Anhang 1: Unterlagen zur Lernfabrikgestaltung	164
Anhang 1.1: Lernfabrik-Morphologie	164
Anhang 1.2: Übergeordnete Kompetenzmatrix zur schlanken Produktion	167
Anhang 1.3: Vertikaler und horizontaler Abbildungsumfang	170
Anhang 2: Unterlagen zur Konfiguration von Lernfabriken	171
Anhang 2.1: Beispielhafte Anforderungen zur Lernfabrik-Konfiguration	171
Anhang 2.2: Betrachtete Interaktionen	172
Anhang 2.3: Betrachtete Technologien in Lernfabriken	173
Anhang 2.4: Bewertungskriterien	174
Anhang 2.5: Paarvergleich der Bewertungskriterien	176
Anhang 3: Bewertete Konfigurationsalternativen in den Fallstudien	177
Anhang 3.1: Fallstudie 1	177
Anhang 3.2: Fallstudie 2	178
Anhang 3.3: Fallstudie 3	179
Anhang 4: Evaluationsfragebogen zur entwickelten Methodik	180
Anhang 5: Betreute Abschlussarbeiten	184
Anhang 6: Publikationsübersicht	185