



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Judith Enke

**Methodik zur multidimensionalen,
reifegradbasierten Entwicklung von
Lernfabriken für die 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 multidimensionalen, reifegradbasierten Entwicklung von Lernfabriken für die Produktion

Vom Fachbereich Maschinenbau
an der Technischen Universität Darmstadt

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

genehmigte

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

vorgelegt von

Dipl.-Wirt.-Ing. Judith Enke

aus Zwenkau

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich

Mitberichterstatter: Prof. Dr. techn. Christian Ramsauer

Tag der Einreichung: 24. Juli 2019

Tag der mündlichen Prüfung: 05. November 2019

Darmstadt 2020

D17

Schriftenreihe des PTW: "Innovation Fertigungstechnik"

Judith Enke

**Methodik zur multidimensionalen, reifegradbasierten
Entwicklung von Lernfabriken für die Produktion**

D 17 (Diss. TU Darmstadt)

Shaker Verlag
Düren 2020

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., 2019

Copyright Shaker Verlag 2020

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7474-1

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 vergleichsweise hohen Kosten und Löhne am Produktionsstandort Deutschland müssen immer wieder durch eine entsprechend hohe Produktivität gerechtfertigt werden. Dieser Produktivitätsvorsprung fußt vor allem auf dem hohen Kompetenzniveau der Beschäftigten und ihrer daraus entstehenden Leistungsfähigkeit. Diese produktionsbezogenen Kompetenzen und ihre Weiterentwicklung waren bisher schon eine wichtige Quelle für Wettbewerbsvorteile. Die vor allem aufgrund der Digitalisierung beschleunigte Veränderung der Arbeitswelt führt dazu, dass in kürzerer Zeit neue Anforderungen an die Beschäftigten in der Produktion gestellt werden. IT-Kenntnisse, Veränderungsbereitschaft und Flexibilität in der Einstellung auf immer neue Arbeitssituationen müssen gefördert werden, damit Beschäftigte am Wandel in der Produktion erfolgreich teilhaben und ihn mitgestalten können. Mehr denn je spielt kompetenzorientierte Weiterbildung in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle.

Die hierfür notwendigen Weiterbildungskonzepte unterscheiden sich stark, beispielsweise hinsichtlich ihres Realitätsbezugs oder der Steuerung von Lernprozessen. Insbesondere in diesen Bereichen haben sich Lernfabriken im letzten Jahrzehnt als Weiterbildungskonzept etabliert, das praxisnahes Lernen in einer realen Fabrikumgebung ermöglicht. Mittlerweile betreiben Forschungsinstitute und Unternehmen weltweit Lernfabriken zu einer Vielzahl von Themen: Neben der Verbesserung von Produktionssystemen stehen auch die Vermittlung von Energieeffizienz und der Umgang mit neuen Technologien im Fokus. Vor dem Hintergrund eines sich verändernden Weiterbildungsmarktes, der neue Themen aufgreift und neue Formate etabliert, müssen Lernfabriken nicht nur ihren Status quo erhalten, sondern sich stetig weiterentwickeln und an neue Gegebenheiten anpassen.

Es stellt sich die Frage, auf welchen Standards Lernfabriken aufbauen und wie diese kontinuierlich verbessert werden. Darüber hinaus müssen individuelle Verbesserungspotenziale für eine Lernfabrik aufgezeigt werden, um eine zielgerichtete, schrittweise Verbesserung zu ermöglichen. Im Sinne des Lernens voneinander ist außerdem ein Benchmarking-Instrument wünschenswert.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde deshalb eine Methodik entwickelt, um Lernfabriken in ihrer Weiterentwicklung zu unterstützen. Das entstandene Reifegradmodell basiert auf den unterschiedlichen Gestaltungsdimensionen einer Lernfabrik. Seine Anwendung resultiert in einer Liste spezifischer Verbesserungspotenziale für eine betrachtete Lernfabrik. Die Formulierung von Standards ist ebenso Teil der Arbeit wie die Ableitung von Entwicklungspfaden aufbauend auf aktuellen Trends der Weiterbildung und Befragungen von Stakeholdern.

Die Methodik wurde in sieben Lernfabriken erfolgreich angewendet, die sich hinsichtlich Zielgruppen, Zweck, Betreiberorganisation und Themen unterscheiden. Für jede dieser Lernfabriken werden Handlungsempfehlungen ermittelt und ein individueller Pfad zur Weiterentwicklung aufgezeigt. Die entwickelte Methodik ist damit ein wichtiger Beitrag zur Lernfabrikforschung im Allgemeinen und zur systematischen Weiterentwicklung einzelner Lernfabriken im Besonderen.

Vorwort der Autorin

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) der Technischen Universität Darmstadt. Sie ist das Ergebnis von Forschung, Beratung und Weiterbildung auf dem Forschungsgebiet der Lernfabriken.

Ich möchte mich herzlich bei allen Personen bedanken, die zum Gelingen meiner Dissertation beigetragen haben. Mein Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Metternich für die Betreuung meiner Doktorarbeit und die anregenden Diskussionen. Ich habe die eingeräumte Freiheit sehr geschätzt und dass Herr Professor Metternich sich immer Zeit genommen hat, um über die Dissertation zu diskutieren und Ideen auszutauschen. Auch bedanke ich mich bei meinem Koreferenten Herrn Prof. Dr. techn. Ramsauer für die bereitwillige Übernahme meines Koreferats, für die Korrektur und das Feedback zu meinen Ideen und meiner Arbeit.

Begleitet haben mich in den letzten sechs Jahren auch meine Kolleginnen und Kollegen. Hierfür möchte ich mich bedanken, insbesondere bei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Supports, die an vielen Stellen entlastet haben. Mein Dank gilt den (ehemaligen) Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Forschungsgruppe CiP für die Gemeinschaft, den Austausch und den Rückhalt in der Gruppe. Bereichernd waren für mich die Diskussion im Forschungsschwerpunkt Lernfabriken, die dabei geholfen haben, die eigenen Ideen und Ergebnisse herauszufordern, zu reflektieren und zu entwickeln. Mein besonderer Dank gilt dabei Dr.-Ing. Michael Tisch, der meine Dissertation auch über seine Institutszeit hinaus begleitet hat. Ich bedanke mich für seine Unterstützung bei der Ideenfindung, für die gemeinsame Beantragung und Durchführung von Projekten, für die Korrektur meiner Arbeit und das hilfreiche Feedback sowie für die Unterstützung und Anregungen bei der Vorbereitung meiner Disputation. Bedanken möchte ich mich außerdem bei Rupert Glass und Antonio Kreß für die gemeinsame Projektarbeit, den regen Austausch und die Motivation an der Dissertation dranzubleiben. Dankbar bin ich auch für die Korrektur meiner Dissertation sowie ihr Feedback in der Vorbereitung meines mündlichen Vortrags. Ich danke den Studentinnen und Studenten, die mich im Rahmen meiner Arbeit unterstützt haben. Bedanken möchte ich mich auch bei meinem Bruder Florian Enke für das abschließende Korrekturlesen meiner Arbeit.

Außerdem danke ich meinen Freunden, die in den letzten Jahren für mich da waren, sei es für fachliche Diskussionen oder für die manchmal benötigte Ablenkung. Mein größter Dank gilt schließlich meiner Familie, die immer für mich da ist und mich in allen meinen Unternehmungen unterstützt und bestärkt.

Darmstadt, Mai 2020

Judith Enke

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation.....	1
1.2	Motivation und Problemstellung.....	2
1.3	Lösungsansatz und Aufbau der Arbeit.....	4
2	Stand der Forschung und Praxis	7
2.1	Das Lernsystem Lernfabrik.....	7
2.1.1	Lernfabriken für die Produktion.....	7
2.1.2	Beschreibungsmodell für Lernfabriken.....	10
2.1.3	Lebenszyklus einer Lernfabrik.....	17
2.1.4	Entwicklungspotenziale von Lernfabriken.....	20
2.2	Reifegradmodelle zur Unterstützung der Organisationsentwicklung.....	24
2.2.1	Grundlagen zur systematischen Entwicklung von Organisationen....	24
2.2.2	Grundlagen zu Reifegradmodellen.....	26
2.2.3	Struktur, Elemente und Entwicklung von Reifegradmodellen.....	28
2.2.4	Anforderungen an ein Reifegradmodell zur Weiterentwicklung von Lernfabriken.....	31
2.2.5	Reifegradbasierte Modelle.....	33
2.2.6	Qualitätsmanagementbasierte Modelle.....	40
2.2.7	Bewertung bestehender Modelle.....	44
3	Zielsetzung und Forschungskonzeption	47
3.1	Zielsetzung.....	47
3.2	Forschungskonzeption.....	47
3.3	Anforderungen an die Methodik.....	48
3.3.1	Inhaltliche Anforderungen.....	48
3.3.2	Formale Anforderungen.....	49
4	Methodik zur Entwicklung von Lernfabriken	51
4.1	Konzeption der Methodik.....	51
4.1.1	Bezugsrahmen der Methodik.....	51
4.1.2	Struktur der Methodik.....	53
4.2	Sicherung von Standards.....	54
4.3	Reifegradmodell für Lernfabriken.....	64
4.3.1	Festlegung der Gestaltungsmerkmale.....	64
4.3.2	Entwicklung des Modells.....	68
4.3.3	Struktur des Modells.....	70
4.3.4	Inhalte des Modells.....	76
4.3.5	Erfüllung der formulierten Anforderungen.....	84
4.4	Ableitung von Entwicklungspfaden.....	86
4.4.1	Anforderungen der Stakeholder.....	86
4.4.2	Entwicklungsrichtungen von Lernfabriken.....	90
4.4.3	Priorisierung von Handlungsempfehlungen.....	97
4.5	Vorgehen zur Entwicklung von Lernfabriken.....	102
5	Anwendung und Evaluation der Methodik	107
5.1	Anwendung der Methodik und Darstellung der Ergebnisse.....	108
5.2	Evaluationskonzept.....	118
5.3	Auswertung und Diskussion der Evaluationsergebnisse.....	122
6	Zusammenfassung und Ausblick	133
6.1	Zusammenfassung.....	133
6.2	Ausblick.....	134
7	Literaturverzeichnis	137

8 Anhang	155
8.1 Morphologie für Lernfabriken	155
8.2 Auswertung nach Lebenszyklusphasen einer Lernfabrik	158
8.3 Vorgehen zur Entwicklung von Reifegradmodellen.....	165
8.4 Liste der Lernfabriken und lernfabrikähnlichen Lernumgebungen	167
8.5 SAETO Fragebogen zur Ableitung der Reifelemente.....	170
8.6 Reifegradmodell: Reifelemente geordnet nach Handlungsfeldern	177
8.7 Spezifische Beschreibung der Fähigkeitsgrade	187
8.8 Anforderungen der Stakeholder – Datengrundlage.....	205
8.9 Zielbeitragsmatrix der Stakeholder-Anforderungen.....	208
8.10 Evaluationsfragebogen zur entwickelten Methodik	218
8.11 Lebenslauf der Autorin	223