



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Michael Tisch

**Modellbasierte Methodik zur
kompetenzorientierten Gestaltung
von Lernfabriken für die schlanke
Produktion**

**Schriftenreihe des PTW:
„Innovation Fertigungstechnik“**

**Hrsg.: Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele,
Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich**



Modellbasierte Methodik zur kompetenzorientierten Gestaltung von Lernfabriken
für die schlanke 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.-Wirtsch.-Ing. Michael Tisch

aus Leonberg

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele

Mitberichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder

Tag der Einreichung: 17. Oktober 2017

Tag der mündlichen Prüfung: 16. Januar 2018

Darmstadt 2018

D17

Schriftenreihe des PTW: "Innovation Fertigungstechnik"

Michael Tisch

**Modellbasierte Methodik zur
kompetenzorientierten Gestaltung von Lernfabriken
für die schlanke Produktion**

D 17 (Diss. TU Darmstadt)

Shaker Verlag
Aachen 2018

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., 2018

Copyright Shaker Verlag 2018

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5824-6

ISSN 1864-2179

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

Vorwort des Herausgebers

Schlanke Produktionssysteme zu implementieren, zu leben und weiterzuentwickeln wurde in den letzten Jahrzehnten überlebensnotwendig als Reaktion auf Globalisierung und weltweiten Wettbewerbsdruck. Insbesondere der Faktor Mensch entscheidet hierbei über Erfolg und Misserfolg. Im internationalen Wettbewerb muss das Ausbildungs- und Qualifikationsniveau der hiesigen Produktionsbeschäftigten als Vorteil ausgebaut werden. Dies hängt mit dem Thema Lernen in der Produktion und der Entwicklung von entscheidenden Kompetenzen auf allen Hierarchieebenen zusammen.

In der Vergangenheit führten Standardmethoden zum Kompetenzaufbau im Bereich der Produktionstechnik und des Produktionsmanagements zu unzureichenden Umsetzungs- und Transferwirkungen. Um die Lücke zu schließen und um der Dynamik der Produktionstechnik gerecht zu werden begann im Jahre 2005 die Planung einer geeigneten Lernumgebung für die Produktion – der „Prozesslernfabrik CiP“. Nach mittlerweile 10 Jahren erfolgreichem Betrieb der Prozesslernfabrik wird deutlich, dass sowohl Unternehmen als auch Studierende von diesen praxisnahen Erfahrungen im Bereich der schlanken Produktion profitieren. Entscheidend für den Erfolg des Konzepts ist, dass neues Wissen direkt erprobt und Erfahrungen in realen Produktionsumgebungen gesammelt werden können. Das PTW betreibt mittlerweile neben der Prozesslernfabrik auch die ETA-Fabrik rund um das Thema der Energieeffizienz. Auch im Zusammenhang mit der Qualifizierung für Industrie 4.0 nehmen nicht nur in Darmstadt Lernfabriken eine zentrale Rolle ein. Insbesondere in Deutschland, aber auch weltweit verbreiten sich Lernfabriken zunehmend in großer Vielfalt. Es ist davon auszugehen, dass dieser Trend auch in den kommenden Jahren nicht brechen wird.

Diese vielfältigen Lernfabrikaktivitäten sind nicht ausschließlich baulich sondern auch konzeptionell mit hohen Aufwänden verbunden, wobei sich diese durch unnötige Iterationen im Entwicklungsprozess weiter erhöhen. Darüber hinaus kann oftmals, trotz des aufwändigen Gestaltungsprozesses, nicht sichergestellt werden, dass das Lernfabrikkonzept spezifische gestaltungsleitende Ziele erreicht oder gar verfolgt. Im Rahmen der vorliegenden Dissertation wird daher eine Methodik zur Gestaltung von Lernfabriken entwickelt und erprobt, die eine zielorientierte und systematische Lernfabrikgestaltung beispielhaft im Themenfeld der schlanken Produktion ermöglicht. Die Ergebnisse verdeutlichen das Potenzial des Lernfabrikkonzepts und ermutigen zu weiterführenden Forschungsaktivitäten in diesem jungen Forschungsfeld.

Vorwort des Verfassers

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) der Technischen Universität Darmstadt. Im Rahmen der Anfertigung dieser Arbeit habe ich von vielen Seiten Unterstützung erhalten, für die ich mich an dieser Stelle herzlich bedanken möchte. Einige sind hierbei besonders hervorzuheben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele für die Betreuung meiner Arbeit, seine stete Gesprächsbereitschaft, die guten Anregungen und das entgegengebrachte Vertrauen. Ebenso danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder für sein fachliches Interesse am Thema, die gründliche Durchsicht sowie die Übernahme des Korreferats.

Bei allen Kolleginnen und Kollegen des Instituts bedanke ich mich für die stets vertrauensvolle und konstruktive Zusammenarbeit, die ich immer in bester Erinnerung behalten werde. Insbesondere sei den Kolleginnen und Kollegen der Forschungsgruppe CiP für die tolle Gruppengemeinschaft und Kooperation in Forschungs- und Beratungsprojekten sowie den vielen Lernfabriktrainings gedankt. Ebenso danke ich den zahlreichen Studierenden, die mich im Rahmen ihrer Arbeiten unterstützt haben. Mein besonderer Dank gilt einigen Personen, die in besonderem Maße zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben. Herrn Dr.-Ing. Christian Hertle sowie Frau Judith Enke danke ich für den wertvollen Austausch von Ideen im Rahmen vieler Diskussionen, die gründliche Durchsicht meiner Arbeit sowie die Unterstützung bei der Erstellung des Disputationsvortrags. Frau Siri Adolph danke ich für die stete Begleitung bei der Themenfindung und ihr immer offenes Ohr. Herrn Walter Pape danke ich herzlich für das gründliche Korrekturlesen der Arbeit und seine aufmunternden Worte bei der Vorbereitung des Disputationsvortrags. Ebenso danke ich Herrn Dr.-Ing. Stefan Seifermann und Herrn Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich für die stets kritischen Blicke auf Manuskripte und die gute Zusammenarbeit in den letzten Jahren.

Mein herzlicher Dank gebührt schließlich meiner ganzen Familie für die immerwährende Unterstützung nicht nur im Rahmen der Promotionszeit. Von ganzem Herzen danke ich meiner Frau Isabel für die emotionale Unterstützung, den grenzenlosen Rückhalt sowie ihren tagtäglichen Einsatz ohne den diese Arbeit nicht denkbar gewesen wäre. Ich danke ihr und meinem Sohn Benjamin dafür, was sie jeden Tag für mich sind.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Stand der Forschung und Praxis	7
2.1	Produktionssysteme	7
2.1.1	Fabrik als Produktionssystem	8
2.1.2	Schlanke Produktionssysteme	17
2.2	Kompetenzentwicklung für die Produktion	24
2.2.1	Begriffsdefinitionen und Bedeutungen	24
2.2.2	Arbeitsplatzbezogenes Lernen in der Produktion	30
2.2.3	Grundlagen der Didaktik und der Methodik	36
2.3	Lernfabriken als Lernsystem für die Kompetenzentwicklung	37
2.3.1	Terminologie und Abgrenzung von Lernfabriken	38
2.3.2	Definition und Konzept	39
2.3.3	Historie der Lernfabriken	44
2.3.4	Vielfalt bestehender Lernfabriken	46
2.3.5	Bestehende Lernfabrikmodelle und Ansätze	51
3	Zielsetzung und Forschungskonzeption	57
3.1	Rahmenbedingungen und Probleme der Gestaltungspraxis	57
3.2	Zielsetzung	58
3.3	Forschungskonzeption	58
3.4	Anforderungen an das Modell	58
3.4.1	Inhaltliche Anforderungen an das Modell	59
3.4.2	Formale Anforderungen an das Modell	59
3.5	Anforderungen an die Methodik	60
3.5.1	Inhaltliche Anforderungen an die Methodik	60
3.5.2	Formale Anforderungen an die Methodik	62
3.6	Abgrenzung des Untersuchungsbereichs	62
4	Modell des Systems Lernfabrik	65
4.1	Zielsetzung des Lernfabrikmodells	66
4.2	Systemgrenzen und Einflussfaktoren	67
4.3	Konzeptuelle Strukturbildung	72
4.3.1	Gestaltungsebenen von Lernfabriken	72
4.3.2	Identifikation relevanter Gestaltungsdimensionen des Systems Lernfabrik	76
4.4	Identifikation relevanter Gestaltungselemente	77

4.5	Beschreibung der Gestaltungsdimensionen	79
4.5.1	Gestaltungsdimension „Betreibermodell“	81
4.5.2	Gestaltungsdimension „Ziele und Zweck“	83
4.5.3	Gestaltungsdimension „Prozess“	84
4.5.4	Gestaltungsdimension „Setting“	85
4.5.5	Gestaltungsdimension „Produkt“	87
4.5.6	Gestaltungsdimension „Didaktik“	89
4.5.7	Kenngrößen der Lernfabrikkonzepte	91
4.6	Beschreibung der Zusammenhänge	91
4.7	Evaluierung des Modells	98
4.7.1	Evaluierungskonzept und -durchführung	98
4.7.2	Evaluierungsergebnisse	99
5	Methodik zur kompetenzorientierten Lernfabrikgestaltung	107
5.1	Konzeption der Methodik	107
5.1.1	Bezugsrahmen der Methodik	108
5.1.2	Struktur der Methodik	111
5.2	Vorgehensmodell zur kompetenzorientierten Gestaltung	112
5.3	Drei Perspektiven auf das Vorgehensmodell	120
5.4	Vorgehen und Methoden der Makro-Ebene	121
5.4.1	Allgemeine Zielfestlegung und Grundlagenermittlung	121
5.4.2	Lernzielfestlegung	125
5.4.3	Horizontale und vertikale Strukturplanung	127
5.4.4	Konzept- und Detailplanung Lernfabrikumgebung	129
5.4.5	Prüfung zur Adressierung und Realisierung	136
5.4.6	Modularisierung und Programmerstellung	136
5.5	Vorgehen und Methoden der Meso-Ebene	137
5.5.1	Anforderungen und Rahmenbedingungen auf Lernmodul-Ebene	137
5.5.2	Beschreibung, Detaillierung und Operationalisierung intendierter Lernziele	137
5.5.3	Technisch-methodische Gestaltung des Lernmoduls	142
5.6	Vorgehen und Methoden der Mikro-Ebene	155
5.6.1	Definition der Rahmenbedingungen, Anforderungen und Ziele	156
5.6.2	Gestaltung der Lernaktivitäten	156
5.7	Kompetenzorientierte Evaluierung	158
5.8	Erprobung und Evaluierung der Methodik	160
6	Anwendung der Methodik in Fallstudien	161

6.1	Praktische Anwendung der Methodik auf Makro-Ebene	164
6.1.1	Zielfestlegung und Grundlagenermittlung (TP 1.1)	165
6.1.2	Übergeordnete Lernzielfestlegung (TP 1.2)	166
6.1.3	Struktur-, Konzept- und Detailplanung (TP 1.3-1.4).....	168
6.1.4	Prüfung, Realisierung und Modularisierung (TP 1.5-1.6).....	171
6.2	Praktische Anwendung der Methodik auf Meso-Ebene	172
6.2.1	Analyse der Anforderungen und Rahmenbedingungen (TP 2.1)	173
6.2.2	Zielgruppenspezifische intendierte Lernziele (TP 2.2)	175
6.2.3	Technisch-methodische Gestaltung des SFM-Moduls (TP 2.3).....	177
6.3	Praktische Anwendung der Methodik auf Mikro-Ebene	179
6.4	Durchführung und Evaluation.....	181
6.4.1	Planung und Durchführung des Lernmoduls.....	181
6.4.2	Kompetenzorientierte Evaluation	181
6.5	Konzeption und Ergebnisse von Experteninterviews zur Methodik	193
7	Zusammenfassung und Ausblick	199
7.1	Zusammenfassung.....	199
7.2	Ausblick	202
7.2.1	Übertragbarkeit der Ergebnisse	202
7.2.2	Weiterführende Forschungsthemen	203
8	Literaturverzeichnis	207
9	Anhang	245
9.1	Exkurse zu den Grundlagen des Lernens, der Didaktik und der Methodik..	245
9.1.1	Lerntheorien im Überblick	245
9.1.2	Übersicht über die Modelle der Allgemeinen Didaktik.....	246
9.1.3	Übersicht über die Modelle des Instruktionsdesign	248
9.2	Lernfabrikdefinitionen	251
9.3	Zusammenhänge zwischen Gestaltungselementen und Gestaltungsebenen	253
9.4	Sequenzierungsmatrizen der Gestaltungselemente.....	254
9.5	Interviewleitfaden zur Evaluierung des Modells	257
9.6	Grafische Elemente der BPMN	260
9.7	Formblatt zu den inhaltlichen Anforderungen und Rahmenbedingungen (TP 1.1).....	262
9.8	Formblatt zu den organisatorischen Anforderungen und Rahmenbedingungen	269
9.8.1	Betreibermodell der Lernfabrik	270

9.8.2	Zweck und Ziele der Lernfabrik	271
9.8.3	Abzubildender Prozess der Lernfabrik	272
9.8.4	Setting der Lernfabrik	273
9.8.5	Produkt der Lernfabrik	274
9.8.6	Didaktik der Lernfabrik	275
9.8.7	Kenngößen der Lernfabrik	276
9.9	Formblatt zu TP 2.1	277
9.10	Formblatt zu TP 3.1	278
9.11	Schlüsselbegriffe zur Kompetenzdefinition	279
9.12	Kompetenztransformation SFM-Lernmodul	280
9.13	Anlagen zur Evaluierung des SFM Lernmoduls	284
9.14	Interviewleitfaden zur Evaluierung der Methodik	294
9.15	Lebenslauf des Autors	296