

Alexander Marks

# Wirtschaftliche Mitarbeiterqualifizierung durch lernorientierte Montagesystemgestaltung





Wirtschaftliche Mitarbeiterqualifizierung  
durch lernorientierte Montagesystemgestaltung

Economical Employee Qualification  
through Learning-Oriented Assembly System Design

Von der Fakultät für Maschinenwesen  
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen  
zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Ingenieurwissenschaften  
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Alexander Frederik Marks

**Berichter:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Achim Kampker  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Burggräf

Tag der mündlichen Prüfung: 11. Dezember 2018



# ERGEBNISSE AUS DER PRODUKTIONSTECHNIK

**Alexander Frederik Marks**

Wirtschaftliche Mitarbeiterqualifizierung  
durch lernorientierte Montagesystemgestaltung

**Herausgeber:**

Prof. Dr.-Ing. T. Bergs  
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. G. Schuh  
Prof. Dr.-Ing. C. Brecher  
Prof. Dr.-Ing. R. H. Schmitt

Band 7/2019



**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <https://portal.dnb.de> abrufbar.

Alexander Frederik Marks:

Wirtschaftliche Mitarbeiterqualifizierung durch lernorientierte Montagesystemgestaltung

1. Auflage, 2019

Gedruckt auf holz- und säurefreiem Papier, 100% chlorfrei gebleicht.

Apprimus Verlag, Aachen, 2019  
Wissenschaftsverlag des Instituts für Industriekommunikation und Fachmedien  
an der RWTH Aachen  
Steinbachstr. 25, 52074 Aachen  
Internet: [www.apprimus-verlag.de](http://www.apprimus-verlag.de), E-Mail: [info@apprimus-verlag.de](mailto:info@apprimus-verlag.de)

Printed in Germany

ISBN 978-3-86359-711-5

D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2018)

# Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Fabrikplanung am Lehrstuhl für Produktionssystematik des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen.

Herrn Professor Achim Kampker, Inhaber des Chair of Production Engineering of E-Mobility Components, danke ich sehr herzlich für die Möglichkeit zur Promotion sowie seine Unterstützung, Förderung und für das Vertrauen in meine Person. Herrn Professor Peter Burggräf danke ich ebenfalls sehr herzlich für seinen Beitrag zu meiner Forschungsreise, für die grundsätzliche Begeisterung zur Promotion, für die immer spannende und herausfordernde Zusammenarbeit in verschiedensten Konstellationen, für die Betreuung und kritische Durchsicht meiner Dissertation sowie schlussendlich für die Übernahme des Koreferats. Herrn Professor Jochen Büchs danke ich für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Für die lehrreiche und bereichernde Zeit am Lehrstuhl möchte ich mich auch bei all meinen ehemaligen Kollegen von WZL und PEM bedanken. Durch die tolle Zusammenarbeit bei all den Herausforderungen haben sie ihren Beitrag zu einer wunderbaren Zeit in diesem intensiven Umfeld geleistet und damit zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Besten Dank an Dr. Nemanja Sarovic, Tobias Wissing, Jan-Philipp Ganser, Johannes Wagner und Matthias Dannapfel. Darüber hinaus auch besten Dank an meine studentischen Mitarbeiter für ihr vielfältiges Mitwirken - insbesondere Christian Degenhardt, Moritz Hesper und Alexander Volz.

Die universitäre und schulische Ausbildung war das Fundament dieser Forschungsreise und ich bin sehr dankbar darüber dass sich aus beiden Phasen Freundschaften fürs Leben ergeben haben. Herzlichen Dank liebes Einsatzteam und liebe Schorndorfer BG-Freunde für all die gemeinsamen Unternehmungen aber auch die Hinnahme meiner häufigen Abwesenheit in den letzten Jahren.

Der größte Dank aber gebührt meiner lieben Familie - meinen Großeltern, Eltern, Geschwistern sowie meiner Frau und unseren beiden Töchtern. Meinem verstorbenen Großvater Wolfgang Frech für seine stets fordernde aber immer herzliche Art. Meinen Eltern Michael und Sylvia Marks für ihre Begleitung auf meinem bisherigen Lebensweg und die stete Ermutigung zur Verfolgung und Erreichung meiner gesteckten Ziele. Dabei besonders meiner Mutter für ihre großartige Leistung auch in schwierigen Zeiten. Meinen Brüdern Tobias, Patrick und Daniel für die tolle Gemeinschaft von Kindesbeinen an.

Vor allem aber bei meiner Frau Alexandra bedanke ich mich von Herzen für das Ertragen all der Entbehrungen in den vergangenen Jahren. Diese Zeit ist nicht mehr zurückzuholen, aber ich freue mich außerordentlich auf den wiedergewonnen Freiraum und die vielen bevorstehenden gemeinsamen Momente und Erlebnisse mit Dir, Amelie und Sophie!

Liebe Mami und geliebte Alexandra - Euch beiden widme ich in tiefster Dankbarkeit diese Arbeit! Ohne Eure bedingungslose Unterstützung, das grenzenlose Verständnis und die immerwährende Liebe wäre dies nicht möglich gewesen!



## Zusammenfassung

*Die Montage als integrierendes Bindeglied der Wertschöpfungskette sieht sich mehr als jedes andere Element dieser Kette den dynamischen Entwicklungen des Marktes, der Technologien sowie den gesellschaftspolitischen Veränderungen ausgesetzt. Der Produktionsfaktor Mensch ist in manuellen und hybriden Montagesystemen der wesentliche Befähiger für den erfolgreichen Umgang damit. Nur durch eine möglichst effiziente und stets den individuellen Anforderungen entsprechende Qualifikation ebendessen kann ein wirtschaftlicher Produktionsprozess gewährleistet werden.*

*Die Arbeit adressiert dieses Praxisproblem und hat das Ziel, eine Methodik für die wirtschaftliche Mitarbeiterqualifizierung durch lernorientierte Montagesystemgestaltung zu entwickeln. Die entwickelte Methodik gewährleistet, dass unter Einbezug aller relevanten Einflussfaktoren und möglichen Gestaltungsmaßnahmen eine aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten optimale arbeitsintegrierte Mitarbeiteranlernung durch die entsprechende Arbeitsplatzgestaltung ermöglicht werden kann.*

*Die Forschungsreise zur Entwicklung der Methodik erfolgt dabei in fünf Etappen. Handlungsleitendes Element sind dabei die in Summe 15 definierten bzw. entwickelten Gestaltungsmaßnahmen für die Bereitstellungsbereiche Arbeitsinformation, Werkzeug und Material. Die Verknüpfung mit den Einflussfaktoren sowie die empirische Ermittlung der auf Ausführungszeiten basierenden Lernverläufe folgen dieser Struktur und sind die wesentlichen Entdeckungen dieser Forschungsreise. Durch die Überführung der Arbeitsaufwände in die monetäre Betrachtung und die Quantifizierung der Aufwände für die Gestaltung des Arbeitssystems wird eine Aussage hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit sichergestellt. Zusammenfassend werden die Ergebnisse in einem Planungsmodul in den Phasen Situationsanalyse, Maßnahmendefinition und Umsetzungsplanung strukturiert und damit allgemein anwendbar gemacht.*



## Summary

*More than any other element in the value chain, assembly as an integrating link is exposed to the dynamic developments of the market, technologies and socio-political changes. In manual and hybrid assembly systems, the human production factor is the key enabler for a successful handling. Only a qualification that is as efficient as possible and always meets individual requirements, can guarantee an economical production process.*

*The thesis addresses this practical problem and aims to develop a methodology for the economic qualification of employees through learning-oriented assembly system design. The developed methodology ensures that, taking into account all relevant influencing factors and possible design measures, an optimal integrated training of employees from an economic point of view can be made possible by the appropriate workplace design.*

*The research trip to develop the methodology takes place in five stages. The guiding elements are the design measures defined or developed in a total of 15 for the provision areas of work information, tools and material. The linkage with the influencing factors as well as the empirical determination of the learning processes based on execution times follow this structure and are the essential discoveries of this research expedition. By transferring the workload into the monetary view and quantifying the workload for the design of the work system, a statement regarding economic efficiency is ensured. In summary, the results are structured in a planning module in the phases of situation analysis, definition of measures and implementation planning and thus made generally applicable.*



# Inhaltsübersicht

<b>Inhaltsübersicht</b> .....	<b>I</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>III</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>IX</b>
<b>Abkürzungen</b> .....	<b>XIII</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Zielsetzung .....	3
1.2 Forschungskonzeption .....	4
1.3 Aufbau der Arbeit .....	9
<b>2 Grundlagen und Handlungsbedarf</b> .....	<b>13</b>
2.1 Montagesysteme .....	13
2.2 Menschliche Arbeitsleistung und Qualifikation .....	26
2.3 Methoden der monetären Bewertungen .....	40
2.4 Anforderungen an eine Methodik aus der Praxis .....	47
2.5 Zwischenfazit .....	52
<b>3 Theorien zur wirtschaftlichen Mitarbeiteranlernung</b> .....	<b>55</b>
3.1 Verfahren der Montagesystemgestaltung .....	56
3.2 Gestaltungsansätze zur Mitarbeiteranlernung .....	64
3.3 Methoden zur Kostenbewertung in Montagesystemen .....	73
3.4 Zwischenfazit .....	76
<b>4 Konzeption der Methodik</b> .....	<b>81</b>
4.1 Grundlagen der Modellierung .....	81
4.2 Grobkonzept zur Methodik-Entwicklung .....	87
4.3 Zwischenfazit .....	95
<b>5 Ausdetaillierung der Methodik</b> .....	<b>97</b>
5.1 Gestaltungsalternativen arbeitsintegrierter Mitarbeiteranlernung .....	97
5.2 Einflussfaktoren der Mitarbeiteranlernung .....	114
5.3 Empirische Entwicklung des Wirkmodells .....	125
5.4 Kostenmodell der Mitarbeiteranlernung .....	146
5.5 Operationalisierung der arbeitsintegrierten Mitarbeiteranlernung .....	154

---

<b>6</b>	<b>Evaluierung der Methodik .....</b>	<b>163</b>
6.1	Fallbeispiel 1: Restrukturierung in der Industriegüter-Branche.....	163
6.2	Fallbeispiel 2: Neuplanung in der Nutzfahrzeugindustrie .....	171
6.3	Kritische Reflexion.....	178
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Fazit .....</b>	<b>183</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>187</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>201</b>
	A1: Fragebogen zur Kurzstudie „Kosteneffiziente Mitarbeiteranlernung“ .....	201
	<b>Lebenslauf.....</b>	<b>209</b>

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsübersicht</b> .....	<b>I</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>III</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>IX</b>
<b>Abkürzungen</b> .....	<b>XIII</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Zielsetzung .....	3
1.2 Forschungskonzeption .....	4
1.3 Aufbau der Arbeit .....	9
<b>2 Grundlagen und Handlungsbedarf</b> .....	<b>13</b>
2.1 Montagesysteme .....	13
2.1.1 Umfeldanalyse der Montage .....	13
2.1.2 Organisationformen der Montage .....	17
2.1.3 Arbeitsumgebung in der Montage .....	21
2.2 Menschliche Arbeitsleistung und Qualifikation .....	26
2.2.1 Produktionsfaktor Mensch .....	26
2.2.2 Mitarbeiterqualifizierung .....	29
2.2.3 Lernen .....	33
2.3 Methoden der monetären Bewertungen .....	40
2.3.1 Kosten .....	41
2.3.1.1 Stufen der Kostenrechnung .....	42
2.3.1.2 Kostenrechnungssysteme .....	43
2.3.2 Wirtschaftlichkeit .....	44
2.3.2.1 Klassische Wirtschaftlichkeitsrechnung .....	45
2.3.2.2 Erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung .....	46
2.4 Anforderungen an eine Methodik aus der Praxis .....	47
2.5 Zwischenfazit .....	52
<b>3 Theorien zur wirtschaftlichen Mitarbeiteranlernung</b> .....	<b>55</b>
3.1 Verfahren der Montagesystemgestaltung .....	56
3.1.1 Montageplanung nach EVERSHEIM .....	56
3.1.2 Systematische Montageplanung nach BULLINGER .....	57
3.1.3 Montageplanung nach REFA .....	58

3.1.4	Gestaltung manueller Fließmontagen nach WILLNECKER .....	59
3.1.5	Gestaltung modularer Produktionssysteme nach NEUHAUSEN .....	60
3.1.6	Planungssystematik nach KONOLD .....	61
3.1.7	Montagesystemgestaltung nach SLAMA.....	62
3.1.8	Montageplanung nach LOTTER.....	63
3.1.9	Arbeitssystemgestaltung nach MÜHLBRADT ET AL.....	64
3.2	Gestaltungsansätze zur Mitarbeiteranlernung .....	64
3.2.1	Beistellmethode nach BUNK.....	65
3.2.2	Vier-Stufen-Methode nach REFA.....	66
3.2.3	Sieben-Stufen-Methode nach REFA .....	67
3.2.4	Leittextmethode nach OTT.....	68
3.2.5	Lerninselkonzept nach DEHNBOSTEL .....	69
3.2.6	Lernförderliche Arbeitsplatzgestaltung nach BIGALK.....	70
3.2.7	Arbeitsorientierte Lernlösungen nach MÜHLBRADT .....	71
3.2.8	Work-based learning through Industrie 4.0 nach SCHUH .....	72
3.3	Methoden zur Kostenbewertung in Montagesystemen .....	73
3.3.1	Kostenmodell für die Montage nach HARTMANN .....	73
3.3.2	Kostenorientierte Produktionsplanung nach KURZ .....	74
3.3.3	Wirtschaftliche Bewertung von Montagesystemen nach KRATZSCH.....	75
3.4	Zwischenfazit .....	76
<b>4</b>	<b>Konzeption der Methodik .....</b>	<b>81</b>
4.1	Grundlagen der Modellierung .....	81
4.1.1	Allgemeine Modelltheorie.....	81
4.1.2	Systemtechnik .....	84
4.1.3	Erkenntnisprozess zur Lösung von Realproblemen .....	86
4.2	Grobkonzept zur Methodik-Entwicklung .....	87
4.2.1	Spezifizierung der Ablaufstruktur .....	87
4.2.2	Detaillierte Ablaufstruktur der Methoden-Entwicklung .....	88
4.2.2.1	Gestaltungsalternativen .....	88
4.2.2.2	Einflussfaktoren .....	90
4.2.2.3	Wirkbeziehungen und -intensitäten.....	91
4.2.2.4	Wirtschaftlichkeit.....	93
4.2.2.5	Planungsmodul.....	94
4.3	Zwischenfazit .....	95
<b>5</b>	<b>Ausdetaillierung der Methodik.....</b>	<b>97</b>
5.1	Gestaltungsalternativen arbeitsintegrierter Mitarbeiteranlernung.....	97

---

5.1.1	Gestaltungsrahmen .....	97
5.1.1.1	Zieldimensionen .....	97
5.1.1.2	Gestaltungsbereiche .....	98
5.1.1.3	Handlungsfelder der wirtschaftlichen Mitarbeiteranlernung .....	99
5.1.2	Morphologie der Gestaltungsbereiche .....	101
5.1.2.1	Information.....	101
5.1.2.2	Werkzeug .....	103
5.1.2.3	Material.....	105
5.1.3	Entwicklung der Gestaltungsmaßnahmen .....	107
5.1.3.1	Arbeitsplan-Gestaltungsmaßnahmen der Mitarbeiteranlernung .....	107
5.1.3.2	Werkzeug-Gestaltungsmaßnahmen der Mitarbeiteranlernung .....	110
5.1.3.3	Material-Gestaltungsmaßnahmen der Mitarbeiteranlernung .....	112
5.2	Einflussfaktoren der Mitarbeiteranlernung .....	114
5.2.1	Häufigkeitsfaktoren .....	115
5.2.1.1	Anlern-Fälle .....	115
5.2.1.2	Einarbeitungs-Fälle .....	116
5.2.1.3	Wiederanlern-Fälle .....	116
5.2.1.4	Zusammenfassung der Häufigkeitsfaktoren .....	120
5.2.2	Intensitätsfaktoren .....	120
5.2.2.1	Produkt .....	121
5.2.2.2	Prozess .....	122
5.2.2.3	Personal .....	122
5.2.2.4	Zusammenfassung der Intensitätsfaktoren .....	124
5.2.3	Experten-Workshop: Einflussfaktoren der Mitarbeiteranlernung.....	124
5.3	Empirische Entwicklung des Wirkmodells.....	125
5.3.1	Versuchsreihen zu den Effekten der definierten Maßnahmen .....	126
5.3.1.1	Studie: Arbeitsinformationen auf Mitarbeiteranlernung.....	128
5.3.1.2	Studie: Werkzeug-Bereitstellung auf Mitarbeiteranlernung.....	132
5.3.1.3	Studie: Material-Bereitstellung auf Mitarbeiteranlernung .....	136
5.3.2	Analyse der Versuchsergebnisse.....	141
5.3.3	Induktive Gestaltung des Wirkmodells .....	141
5.4	Kostenmodell der Mitarbeiteranlernung .....	146
5.4.1	Aufwand für Anlernen, Einarbeiten und Wiederanlernen .....	146
5.4.1.1	Ermittlung der Lern-Integrale .....	146
5.4.1.2	Häufigkeiten.....	147
5.4.1.3	Gesamt-Lernaufwand .....	148
5.4.2	Kostenbewertung der Maßnahmen .....	149

5.4.2.1	Existierende Ausstattungen und Kosten.....	149
5.4.2.2	Einmalige Investitionen .....	150
5.4.2.3	Laufende Kosten.....	151
5.4.3	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	152
5.5	Operationalisierung der arbeitsintegrierten Mitarbeiteranlernung.....	154
5.5.1	Gestaltungsstrategien .....	154
5.5.1.1	Min-Invest .....	155
5.5.1.2	Eco-Learning .....	155
5.5.1.3	Max-Learning.....	155
5.5.1.4	Individual .....	155
5.5.2	Integration in Montageplanungsvorgehen .....	156
5.5.3	Planungsmodul „Wirtschaftliche Mitarbeiteranlernung“ .....	157
5.5.3.1	Situationsanalyse.....	158
5.5.3.2	Iterative Maßnahmendefinition .....	160
5.5.3.3	Umsetzungsplanung .....	161
<b>6</b>	<b>Evaluierung der Methodik .....</b>	<b>163</b>
6.1	Fallbeispiel 1: Restrukturierung in der Industriegüter-Branche.....	163
6.1.1	Ausgangssituation.....	163
6.1.2	Anwendung der Methodik .....	164
6.1.2.1	Situationsanalyse.....	165
6.1.2.2	Maßnahmendefinition .....	167
6.1.2.3	Umsetzungsplanung .....	170
6.1.3	Fazit zur Anwendung .....	170
6.2	Fallbeispiel 2: Neuplanung in der Nutzfahrzeugindustrie .....	171
6.2.1	Ausgangssituation.....	171
6.2.2	Anwendung der Methodik .....	172
6.2.2.1	Situationsanalyse.....	172
6.2.2.2	Maßnahmendefinition .....	174
6.2.2.3	Umsetzungsplanung .....	177
6.2.3	Fazit zur Anwendung .....	178
6.3	Kritische Reflexion.....	178
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Fazit .....</b>	<b>183</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>187</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>201</b>
	A1: Fragebogen zur Kurzstudie „Kosteneffiziente Mitarbeiteranlernung“ .....	201

---

<b>Lebenslauf.....</b>	<b>209</b>
------------------------	------------



## Abbildungsverzeichnis

Bild 1-1: Wissenschaftssystematik .....	5
Bild 1-2: Forschungsmethodisches Vorgehen .....	7
Bild 1-3: Heuristischer Bezugsrahmen .....	8
Bild 1-4: Aufbau der Arbeit .....	9
Bild 2-1: Einflüsse der Montage.....	14
Bild 2-2: Hierarchische Strukturierung von Produktions- bzw. Montagesystemen .....	15
Bild 2-3: Funktionen der Montage .....	16
Bild 2-4: Kinematische Alternativen der Montageorganisation .....	17
Bild 2-5: Einordnung automatisierter Montagesysteme .....	20
Bild 2-6: Vor- und Nachteile manueller Montagesysteme .....	20
Bild 2-7: Morphologie von Montageassistenzsystemen .....	22
Bild 2-8: Das Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum .....	24
Bild 2-9: Arten der Informationsbereitstellung .....	25
Bild 2-10: Gliederung der Produktionsfaktoren .....	26
Bild 2-11: Modell der menschlichen Informationsverarbeitung.....	27
Bild 2-12: Struktur der Multiple-Ressourcen-Theorie .....	29
Bild 2-13: Kompetenz-Formen der beruflichen Qualifikation .....	30
Bild 2-14: Systematik der Qualifizierungsmethoden .....	31
Bild 2-15: Einordnung Anlernen in Qualifizierung .....	33
Bild 2-16: Phasen des Lernprozesses .....	34
Bild 2-17: Anteiliges Lernen und Üben .....	35
Bild 2-18: Schematische Darstellung der Anlernzeit.....	36
Bild 2-19: Abnahme Ausführungszeiten von Elementarbewegungen .....	40
Bild 2-20: Schematischer Ablauf einer Vollkostenrechnung.....	42
Bild 2-21: Verfahrensübersicht der Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	45
Bild 2-22: Ergebnisse Kurzstudie inkl. Anforderungen aus Experteninterviews .....	49
Bild 3-1: Kriterien zur Bewertung bestehender Ansätze.....	55
Bild 3-2: Suchfelder bestehender Ansätze .....	56
Bild 3-3: Montageplanung nach EVERSHEIM .....	57
Bild 3-4: Montageplanung nach BULLINGER.....	58
Bild 3-5: Montageplanungsvorgehen nach REFA.....	59
Bild 3-6: Montageplanungsvorgehen nach WILLNECKER .....	60
Bild 3-7: Gestaltungsvorgehen modularer Produktionssysteme nach NEUHAUSEN .....	61
Bild 3-8: Planungssystematik nach KONOLD.....	61
Bild 3-9: Vorgehen Montagesystemgestaltung nach SLAMA.....	62
Bild 3-10: Montageplanung nach LOTTER.....	63
Bild 3-11: Arbeitssystemgestaltung nach MÜHLBRADT.....	64
Bild 3-12: Beistellmethode nach BUNK .....	65
Bild 3-13: Vier-Stufen-Methode nach REFA .....	67
Bild 3-14: Ablauf der Sieben-Stufen-Methode nach REFA .....	68
Bild 3-15: Leittextmethode nach OTT .....	69

Bild 3-16: Phasen des Lerninselkonzepts nach DEHNBOSTEL .....	69
Bild 3-17: Lernförderlichkeitsgestaltung nach BIGALK .....	70
Bild 3-18: Lernszenario-Gestaltung nach MÜHLBRADT .....	71
Bild 3-19: Arbeitsintegrierte Anlernung nach SCHUH .....	73
Bild 3-20: Kostenermittlung nach HARTMANN.....	74
Bild 3-21: Kostenorientierte Produktionsplanung nach KURZ.....	75
Bild 3-22: Kostenbasierte Auswahl von Montage-Alternativen nach KRATZSCH .....	76
Bild 3-23: Bewertung der betrachteten Ansätze .....	78
Bild 4-1: Erkenntnisprozess zur Lösung von Realproblemen .....	84
Bild 4-2: Generische Ablaufstruktur zur Lösung von Realproblemen .....	86
Bild 4-3: Ablaufstruktur zur Methodik-Entwicklung .....	87
Bild 4-4: Gestaltungsrahmen der Maßnahmenentwicklung .....	89
Bild 4-5: Identifikation Einflussfaktoren der Mitarbeiteranlernung .....	91
Bild 4-6: Wirkmodell der Mitarbeiteranlernung .....	92
Bild 4-7: Wirtschaftlichkeit der Mitarbeiteranlernung .....	93
Bild 4-8: Gestaltungsvorgehen für die wirtschaftliche Mitarbeiteranlernung .....	94
Bild 5-1: Ordnungsrahmen arbeitsintegrierter Mitarbeiteranlernung.....	99
Bild 5-2: Alternativen der Informationsbereitstellung .....	102
Bild 5-3: Alternativen der Werkzeugbereitstellung .....	104
Bild 5-4: Morphologie der Materialbereitstellung .....	105
Bild 5-5: Arbeitsplan-Gestaltungsmaßnahmen der Mitarbeiteranlernung .....	108
Bild 5-6: Werkzeug-Gestaltungsmaßnahmen der Mitarbeiteranlernung .....	111
Bild 5-7: Material-Gestaltungsmaßnahmen der Mitarbeiteranlernung .....	113
Bild 5-8: Auswirkung von Pausen auf den Zeitaufwand je Arbeitsaufgabe.....	117
Bild 5-9: Zuwachs-Faktor $rA, P, Wiederanlernung$ für erste Wieder-Ausführung .....	119
Bild 5-10: Übersicht Häufigkeitsfaktoren .....	120
Bild 5-11: Übersicht Intensitätsfaktoren .....	124
Bild 5-12: Workshop-Ergebnisse „Einflussfaktoren der Mitarbeiteranlernung“ .....	125
Bild 5-13: Steharbeitsplatz aller Versuchsreihen .....	127
Bild 5-14: Arbeitsinformationen + Werkzeug: Versuchsobjekt: Stiftehalter .....	129
Bild 5-15: Maßnahme „Instruction_Text+2D-Animation+3D-Picture_Product+Surface“ .....	130
Bild 5-16: Kurvenverläufe der Maßnahmen zu Arbeitsinformationen .....	131
Bild 5-17: Mittlere Ausführungszeiten der Maßnahmen zu Arbeitsinformationen .....	132
Bild 5-18: Maßnahme „Tool_Pick-by_Paper“ .....	134
Bild 5-19: Kurvenverläufe der Maßnahmen zur Werkzeug-Bereitstellung .....	135
Bild 5-20: Mittlere Ausführungszeiten der Maßnahmen zur Werkzeug-Bereitstellung .....	136
Bild 5-21: Material-Versuchsobjekt: Windmühle .....	137
Bild 5-22: Maßnahme „Material_Set_Pick_by_Light“ .....	138
Bild 5-23: Kurvenverläufe der Maßnahmen zur Material-Bereitstellung .....	139
Bild 5-24: Mittlere Ausführungszeiten der Maßnahmen zur Material-Bereitstellung .....	140
Bild 5-25: Übersicht Effizienzfaktoren zu Arbeitsinformationen .....	144
Bild 5-26: Übersicht Effizienzfaktoren zu Werkzeugen .....	144
Bild 5-27: Übersicht Effizienzfaktoren zu Material.....	145
Bild 5-28: Vorgehen zur Bestimmung der Lern-Integrale .....	147

---

Bild 5-29: Schrittweise Ermittlung von <i>LA, M, P, Wiederanlernung</i> .....	149
Bild 5-30: Ist-Analyse der Kosten am Bsp. der Maßnahmen zur Werkzeugbereitstellung .....	150
Bild 5-31: Wirtschaftlichkeit der Maßnahmenkombinationen über Kostenbetrachtung .....	153
Bild 5-32: Integration des Planungsmoduls in Vorgehen nach EVERSHEIM .....	156
Bild 5-33: Ablaufstruktur Planungsmodul „Wirtschaftliche Mitarbeiteranlernung“ .....	157
Bild 6-1: Ergebnissicht „Intensitätsfaktoren“ im Planungsmodul .....	166
Bild 6-2: Vor-Auswahl der relevanten Maßnahmen im Planungstool .....	168
Bild 6-3: Fallbeispiel 1: Wirtschaftliche Gegenüberstellung der Gestaltungsoptionen .....	169
Bild 6-4: Übersicht Häufigkeitsfaktoren des Fallbeispiels 2 im Planungsmodul .....	174
Bild 6-5: Übersicht Anlernverläufe je Maßnahme für Fallbeispiel 2 .....	175
Bild 6-6: Kostenübersicht für relevante Maßnahmen des Fallbeispiels 2 .....	176
Bild 6-7: Finale Auswahl „Instruction“ am Fallbeispiel 2 .....	177

