

Kirsten Weisner

Beitrag zur Entwicklung individueller Kompetenz zum Umgang mit Variabilität in der Montage durch Adaption motorischer Lerntheorien

**Beitrag zur Entwicklung individueller Kompetenz zum Umgang
mit Variabilität in der Montage durch Adaption motorischer
Lerntheorien**

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

Dr.-Ing.

von der Fakultät Maschinenbau
der Technischen Universität Dortmund
genehmigte Dissertation

Kirsten Weisner, M.Sc.

aus

Dortmund

Tag der mündlichen Prüfung: 14.12.2018

1. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jochen Deuse
2. Gutachter: Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Peter Kuhlang

Dortmund, 2019

Schriftenreihe Industrial Engineering
hrsg. von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jochen Deuse

Band 25

Kirsten Weisner

**Beitrag zur Entwicklung individueller Kompetenz
zum Umgang mit Variabilität in der Montage durch
Adaption motorischer Lerntheorien**

D 290 (Diss. Technische Universität Dortmund)

Shaker Verlag
Aachen 2019

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.: Dortmund, Technische Univ., Diss., 2018

Copyright Shaker Verlag 2019

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-6559-6

ISSN 1867-1322

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

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Produktionssysteme der Technischen Universität Dortmund.

Mein besonderer Dank gilt dem Leiter des Instituts, Herrn Prof. Dr.-Ing. Jochen Deuse, für die wertvolle Unterstützung und Förderung, die zum erfolgreichen Gelingen der Arbeit maßgeblich beigetragen hat. Darüber hinaus möchte ich ihm dafür danken, dass ich die Zielsetzung meiner Arbeit frei wählen durfte, sodass ich mich mit dieser stets vollständig identifizieren konnte.

Bei Herrn Prof. Dr. Peter Kuhlang, dem Leiter des MTM-Instituts, möchte ich mich für die intensive Auseinandersetzung mit meiner Arbeit und für die wertvollen Anmerkungen bedanken.

Darüber hinaus gilt mein Dank Prof. Dr. Thomas Jaitner vom Institut für Sport und Sportwissenschaft der Technischen Universität Dortmund für die Betreuung und Förderung meiner Arbeit. Die zahllosen Durchsprachen meiner wissenschaftlichen Arbeit und die wohlwollende Unterstützung der praktischen Umsetzung meiner Ideen machten diese Arbeit erst möglich.

Des Weiteren bedanke ich mich bei allen ehemaligen und aktuellen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Produktionssysteme für die umfangreichen fachlichen Diskussionen und die konstruktive Kritik. Die mir entgegengebrachte persönliche Unterstützung, auch nach langen, arbeitsreichen Tagen, hat in einem großen Umfang zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen. Hervorheben möchte ich hierbei meine wissenschaftliche Hilfskraft Martina Jamroz, die mich mit ihrer uneingeschränkten Einsatz- und Hilfsbereitschaft stets unterstützt und motiviert hat.

Mein besonderer Dank gilt Silke Frye, Yvonne Finke und Felix Busch. Sie haben mich durch inspirierende Gespräche, konstruktive Kritik und das uneingeschränkte Vertrauen in mich und meine Fähigkeiten immer wieder darin bestärkt, meine Ziele zu verfolgen. Ferner möchte ich mich bei Michel Eickelmann, André Hengstebeck und Mario Wiegand für unzählige fachliche und persönliche Diskussionen, die aufmunternden Worte und das kritische Hinterfragen meiner Ideen und meiner Person bedanken.

Von Herzen möchte ich mich bei meinem Freund Jan bedanken, der auf viele gemeinsame Wochenend- und Abendstunden verzichtet hat. Darüber hinaus hat er es geschafft, jegliche Zweifel vehement abzublocken und durch seine fachliche Unterstützung fühlte ich mich stets ermutigt, neue Herausforderungen anzugehen und zu überwinden.

Mein weiterer Dank geht an meine Familie und Freunde, insb. die „Dortmunder Gang“, die viel Verständnis dafür aufgebracht haben, dass ich zuweilen nicht an jeder Veranstaltung teilnehmen konnte und die die rare Freizeit mit schönen, ausgleichenden Momenten gefüllt haben.

Dortmund, im Februar 2019

Kirsten Weisner

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VII
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung und Motivation	1
1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise	4
2 Theoretischer Bezugsrahmen	7
2.1 Der Systembegriff	7
2.1.1 Soziotechnische Systeme	9
2.1.2 Arbeitssystem nach REFA	11
2.2 Variantenvielfalt in der industriellen Montage	12
2.2.1 Begriffsverständnis Variante und Variantenvielfalt	12
2.2.2 Auswirkungen der Variantenvielfalt auf die industrielle Montage	15
2.2.3 Begriffsdefinition und Charakteristika der Montage	15
2.2.4 Konsequenzen für die Aus- und Weiterbildung	16
2.3 Demografische Entwicklung	18
2.3.1 Vom Defizit- zum Kompetenzmodell	18
2.3.2 Konsequenzen für die Aus- und Weiterbildung	21
2.4 Zusammenfassung	22
3 Kompetenz als Fähigkeit der Selbstorganisation	23
3.1 Begriffsursprung und Verwendung in der Wissenschaft	23
3.2 Begriffsverständnis und Definition	25
3.2.1 Abgrenzung zum Begriff der Qualifikation	26
3.2.2 Berufliche Handlungskompetenz	28
3.3 Kompetenzentwicklung	29
3.3.1 Lerntheorien	30
3.3.2 Erfahrungsbasiertes Lernen	34
3.4 Lehr- und Lernansätze in der industriellen Praxis	35
3.4.1 Training Within Industry	36
3.4.2 REFA-Vier-Stufen-Methode	41
3.5 Zusammenfassung	44
4 Theorien und Ansätze des motorischen Lernens	46
4.1 Der programmorientierte Ansatz (motor approach)	46
4.2 Der systemdynamische Ansatz (action approach)	49
4.2.1 Das Haken-Kelso-Bunz-Experiment (HKB)	51

4.2.2	Charakteristika menschlicher Bewegungen	52
4.3	Das Differenzielle Lehren und Lernen nach Schöllhorn	54
4.3.1	Erklärungsmodelle	56
4.3.2	Forschungsstand zum Differenziellen Lehren und Lernen	58
4.3.3	Praktische Anwendung des Differenziellen Lehrens und Lernens	65
4.4	Zusammenfassung und Ableitung des Handlungsbedarfs	67
5	DL in der industriellen Montage	71
5.1	Zielgrößen der Montage	71
5.1.1	Arbeitsproduktivität	72
5.1.2	Psychische Beanspruchung	75
5.2	Adaption des DL für die industrielle Montage	79
5.2.1	Merkmale und Messgrößen zur Bewertung des Lernens	79
5.2.2	Ableitung von Einflussgrößen auf identifizierte Messgrößen	81
5.2.3	Definition von Variationen in der industriellen Montage	84
5.2.4	Aufgabe des Lehrenden	87
5.3	Zusammenfassung	90
6	Empirische Validierung	91
6.1	Methodik	91
6.1.1	Untersuchungsdesign	91
6.1.2	Montageobjekte	92
6.1.3	Messgrößen	93
6.1.4	Forschungshypothesen	94
6.1.5	Inferenzstatistische Verfahren	96
6.1.6	Stichprobe	98
6.2	Versuchsdurchführung und Ablauf	99
6.2.1	Differenzielles Lernen in der industriellen Montage	101
6.2.2	REFA-Vier-Stufen-Methode	110
6.3	Ergebnisse des Pre-, Post- und Retentionstest	117
6.3.1	Zykluszeit	117
6.3.2	Anzahl der Montagefehler	121
6.3.3	Subjektive Beanspruchung	124
6.4	Ergebnisse des 1. Transfertests (Pumpe)	127
6.4.1	Zykluszeit	128
6.4.2	Anzahl der Montagefehler	130
6.4.3	Subjektive Beanspruchung	132
6.5	Ergebnisse des 2. Transfertests (Schreibtischlampe)	134
6.5.1	Zykluszeit	134
6.5.2	Anzahl der Montagefehler	137
6.5.3	Subjektive Beanspruchung	139
6.6	Ergebnisdiskussion und Zusammenfassung	141

7	Zusammenfassung und Ausblick	146
8	Literaturverzeichnis	149
	Anhang A: Auswirkungen der Variantenvielfalt.....	VIII
	Anhang B: Training Within Industry	IX
	Anhang C: Motorische Lerntheorien	XI
	Anhang D: Psychische Beanspruchung	XIV
	Anhang E: Empirische Untersuchung - Methodik	XV
	Anhang F: Empirischen Untersuchung - Durchführung	XVII
	Anhang G: Empirische Untersuchung - Ergebnisse	XXX

Abkürzungsverzeichnis

CWG	Collaborative Working Group
DiMo	Differenzielles Lehren und Lernen in der Montage
DIN	Deutsches Institut für Normung
DL	Differenzielles Lehren und Lernen
EEG	Elektroenzephalogramm
FG	Freiheitsgrad(e)
GMP	Generalisiertes Motorisches Programm
HKB	Haken, Kelso und Bunz
IPS	Institut für Produktionssysteme
JI	Job Instruction
JM	Job Method
JR	Job Relation
KI-Lernen	Kontext-Interferenz-Lernen
kNN	Künstliche neuronale Netze
KODE	Kompetenzdiagnostik und -entwicklung
MÜR	Methodische Übungsreihe
NASA	National Aeronautics and Space Administration
REFA	Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung
SVM	Support Vector Machine
TLX	Task Load Index
TPS	Toyota Produktionssystem
TU	Technische Universität
TWI	Training Within Industry
VoP	Variability of Practice
Vpn	Versuchsperson(en)
ZNS	Zentrales Nervensystem

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1:	Megatrends.....	2
Abbildung 1.2:	Aufbau der Arbeit.....	5
Abbildung 2.1:	Systemmerkmale.....	8
Abbildung 2.2:	Soziotechnisches System	11
Abbildung 2.3:	Arbeitssystem nach REFA.....	11
Abbildung 2.4:	Klassifizierung von Varianten.....	13
Abbildung 2.5:	Funktionen der Montage.....	16
Abbildung 2.6:	Einflussfaktoren auf die Entwicklung der Leistungsparameter.....	20
Abbildung 3.1:	Klassen der beruflichen Handlungskompetenz.....	28
Abbildung 3.2:	Erfahrungsbasiertes Lernen nach Kolb.....	34
Abbildung 3.3:	Eingesetzte Ansätze der Qualifizierung und Kompetenzentwicklung.....	36
Abbildung 3.4:	TWI Job Instruction Card	38
Abbildung 4.1:	Schematische Darstellung der Ansätze des motorischen Lernens	49
Abbildung 4.2:	Das HKB-Experiment (oben: Wechsel der Bewegungsform bei Frequenzsteigerung; unten: typischer Verlauf der relativen Phase).....	51
Abbildung 4.3:	Schematische Darstellung der Ansätze des motorischen Lernens ergänzt um das DL	56
Abbildung 4.4:	Stochastische Resonanz	58
Abbildung 5.1:	Ermittlung von Vorgabezeiten aus Ist-Zeiten	74
Abbildung 5.2:	Abweichungen zwischen geplanter und Ist-Zykluszeit	75
Abbildung 5.3:	Bewertungsbogen des NASA-TLX.....	78
Abbildung 5.4:	Merkmale und Messgrößen zur Überprüfung des Lernens.....	81
Abbildung 5.5:	Identifizierte Einflussgrößen auf die Messgrößen zur Überprüfung des Lernerfolgs	84
Abbildung 5.6:	Variationen und deren Umsetzung in der industriellen Montage.....	87
Abbildung 5.7:	Aufgaben des Lehrenden beim DL in der industriellen Montage	90
Abbildung 6.1:	Untersuchungsdesign	92
Abbildung 6.2:	Montageobjekte	93
Abbildung 6.3:	Test-Arbeitsplätze für die einzelnen Produkte	93
Abbildung 6.4:	Variationen und deren Umsetzung (2-Stufen-Getriebe).....	102
Abbildung 6.5:	Variationen der Arbeitsaufgabe	102
Abbildung 6.6:	Variationen der Arbeitsumgebung	103
Abbildung 6.7:	Variation der Arbeitsorganisation und des Arbeitsablaufs.....	103
Abbildung 6.8:	Variationen der Arbeitsmittel.....	104
Abbildung 6.9:	Variationen des Arbeitsplatzes	105
Abbildung 6.10:	Variationen der individuellen Leistungsdisposition.....	106
Abbildung 6.11:	Box-and-Whisker-Plot der Zykluszeiten (Pre-, Post- und Retentionstest).....	118
Abbildung 6.12:	Verlauf der Mittelwerte der Zykluszeiten (Pre-, Post, Retentionstest).....	118
Abbildung 6.13:	Anzahl der Montagefehler im Pre-, Post- und Retentionstest	121
Abbildung 6.14:	Anzahl der Montagefehler der einzelnen Vpn (Pre-, Post-, Retentionstest).....	122
Abbildung 6.15:	Box-and-Whisker-Plot der subjektiven Beanspruchung (Pre-, Post- und Retentionstest)	125

Abbildung 6.16: Verlauf der Mittelwerte der subjektiven Beanspruchung (Pre-, Post, Retentionstest).....	125
Abbildung 6.17: Box-and-Whisker-Plot der Zykluszeiten (Transfertest 1).....	128
Abbildung 6.18: Verlauf der Mittelwerte der Zykluszeiten je Montagezyklus (Transfertest 1)	129
Abbildung 6.19: Anzahl der Montagefehler (Transfertest 1)	131
Abbildung 6.20: Anzahl der Montagefehler der einzelnen Vpn (Transfertest 1).....	132
Abbildung 6.21: Box-and-Whisker-Plot der subjektiven Beanspruchung (Transfertest 1).....	133
Abbildung 6.22: Auswertung der einzelnen Dimensionen der subjektiven Beanspruchung (Transfertest 1)	133
Abbildung 6.23: Box-and-Whisker-Plot der Zykluszeiten (Transfertest 2).....	135
Abbildung 6.24: Verlauf der Mittelwerte der Zykluszeiten (Transfertest 2).....	136
Abbildung 6.25: Anzahl der Montagefehler (Transfertest 2)	138
Abbildung 6.26: Anzahl der Montagefehler der einzelnen Vpn (Transfertest 2).....	138
Abbildung 6.27: Box and Whisker Plot der subjektiven Beanspruchung (Transfertest 2)	140
Abbildung 6.28: Auswertung der einzelnen Dimensionen des NASA-TLX (Transfertest 2)	140

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Ursachen für Variantenvielfalt	14
Tabelle 3.1:	Abgrenzung der Begriffe ‚Qualifikation‘ und ‚Kompetenz‘	27
Tabelle 3.2:	Lerntheorien im Vergleich.....	33
Tabelle 4.1:	Empirische Untersuchungen zum DL (Auszug).....	60
Tabelle 5.1:	Beanspruchungsdimensionen des NASA-TLX.....	77
Tabelle 6.1:	Forschungshypothesen	95
Tabelle 6.2:	Stufen des α -Fehler, der Irrtumswahrscheinlichkeit und des Signifikanzniveaus	97
Tabelle 6.3:	Interpretation der Effektstärke	98
Tabelle 6.4:	Charakterisierung der Stichprobe.....	99
Tabelle 6.5:	Versuchsablauf der empirischen Untersuchung	100
Tabelle 6.6:	Ablauf der empirischen Untersuchung (DiMo).....	107
Tabelle 6.7:	Ablaufabschnitte und zugehörige Kernpunkte des 2-Stufen-Getriebes (Auszug) ..	111
Tabelle 6.8:	Terminübersicht REFA-Vier-Stufen-Methode.....	112
Tabelle 6.9:	Ergebnisübersicht für die Zykluszeiten (Pre-, Post- und Retentionstest).....	117
Tabelle 6.10:	Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung für die Variable ‚Zykluszeit‘ der Interventionsgruppe (Pre-, Post-, Retentionstest).....	119
Tabelle 6.11:	Ergebnisse des Post-hoc Tests für den Faktor ‚Messzeitpunkt‘ mit Bonferroni-Korrektur	119
Tabelle 6.12:	Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung für die Variable ‚Zykluszeit‘ (Pre-, Post-, Retentionstest)	120
Tabelle 6.13:	Vergleich der mittleren Zykluszeit je Gruppe (Pre-, Post-, Retentionstest).....	120
Tabelle 6.14:	Ergebnisübersicht für die Anzahl der Montagefehler (Pre-, Post- und Retentionstest)	121
Tabelle 6.15:	Ergebnisse des Friedman-Tests für die Variable ‚Anzahl der Montagefehler‘ (Pre-, Post-, Retentionstest).....	122
Tabelle 6.16:	Ergebnisse des Post-hoc Tests für den Faktor ‚Messzeitpunkt‘ mit Dunn-Bonferroni Korrektur (Pre-, Post- und Retentionstest, Anzahl der Montagefehler)	123
Tabelle 6.17:	Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests (Pre-, Post- und Retentionstest, Anzahl der Montagefehler)	123
Tabelle 6.18:	Ergebnisübersicht für die subjektive Beanspruchung (Pre-, Post- und Retentionstest)	124
Tabelle 6.19:	Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung für die Variable ‚subjektive Beanspruchung‘ (Pre-, Post-, Retentionstest).....	126
Tabelle 6.20:	Ergebnisse des Post-hoc Vergleichs für den Faktor ‚Zeitpunkt‘ mit Bonferroni-Korrektur.....	126
Tabelle 6.21:	Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung für die Variable ‚subjektive Beanspruchung‘ (Pre-, Post-, Retentionstest).....	127
Tabelle 6.22:	Vergleich der mittleren subjektiven Beanspruchung je Gruppe (Pre-, Post-, Retentionstest)	127
Tabelle 6.23:	Ergebnisübersicht für die Zykluszeiten (Transfertest 1).....	128
Tabelle 6.24:	Ergebnisse des t-Tests (1. Transfertest, Zykluszeit)	130
Tabelle 6.25:	Ergebnisübersicht für die Anzahl der Montagefehler (Transfertest 1).....	131

Tabelle 6.26: Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests	
(1. Transfertest, Anzahl der Montagefehler).....	132
Tabelle 6.27: Ergebnisübersicht für die subjektive Beanspruchung (Transfertest 1).....	132
Tabelle 6.28: Ergebnisse des t-Tests (1. Transfertest, subjektive Beanspruchung).....	134
Tabelle 6.29: Ergebnisübersicht für die Zykluszeit (Transfertest 2).....	135
Tabelle 6.30: Ergebnisse des t-Test (2. Transfertest, Zykluszeit)	136
Tabelle 6.31: Ergebnisübersicht für die Montagefehler (Transfertest 2).....	137
Tabelle 6.32: Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests	
(2. Transfertest, Anzahl der Montagefehler).....	139
Tabelle 6.33: Ergebnisübersicht für die subjektive Beanspruchung (Transfertest 2).....	139
Tabelle 6.34: Ergebnisse des t-Tests (2. Transfertest, subjektive Beanspruchung).....	141
Tabelle 6.35: Ergebnisse der Hypothesenprüfung	143