



Humboldt-Universität zu Berlin

Wirkungsanalyse kognitiver Lernwerkzeuge

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades doctor rerum naturalium

Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II

Dipl.-Psych. Sebastian Kunert

Dekan: Prof. Dr. E. Kulke

Gutachter: Prof. Dr. H. Wandke (Humboldt-Universität Berlin)
Prof. Dr. W. Scholl (Humboldt-Universität Berlin)
Prof. Dr. R. Brünken (Universität des Saarlandes, Saarbrücken)

Datum der Promotion: 02. Dezember 2011

Kunert, S. (2011). *Wirkungsanalyse kognitiver Lernwerkzeuge*. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor rerum naturalium im Fach Psychologie. Berlin: Humboldt-Universität zu Berlin.

Professur für Ingenieurpsychologie und Kognitive Ergonomie
Institut für Psychologie
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II
Humboldt-Universität zu Berlin
Unter den Linden 6, D-10099 Berlin

Zusammenfassung

Computergestützte Lernhilfen sind eine der vielversprechendsten Möglichkeiten, das individuelle lebenslange Lernen bei Erwachsenen zu fördern (vgl. Schulmeister, 2007). Derzeit existieren verschiedene Arbeiten bzgl. ihrer Wirkweise (bspw. Ainsworth, 2006) und Wirksamkeit (bspw. Vogel et al., 2006). Instruktionspsychologisch kann die Wirkung dieser Hilfsmittel durch eine Kausalkette vom verstehenden Lernen (Edelmann, 1996) über generative Aktivitäten (Wittrock, 1990) hin zu computergestützten kognitiven Lernwerkzeugen (Jonassen, 1992) begründet werden. Ziel dieser Arbeit ist es, diesen Zusammenhang in seiner Gesamtheit empirisch nachzuweisen.

Dazu wurde eine digitale Lern- und Testumgebung geschaffen, in deren Mittelpunkt 3 Lernwerkzeuge standen. Mit ihrer Hilfe sollten Aufbau, Funktionsweise und Bedienung einer einfachen technischen Anlage erlernt werden. Als Grundlage diente die Theorie zur mentalen Modellbildung über technische Systeme (de Kleer & Brown, 1983; Kieras, 1988), in welcher 3 Stadien der Wissensaneignung postuliert werden. Zur Beförderung des anfänglichen Erlernens der Topologie wurde ein Beschriftungswerkzeug entworfen, zur nachfolgenden Entwicklung eines Handlungsplanes ein Operatorenwerkzeug und zur abschließenden Prüfung des Handlungsplanes eine Simulation. Erhoben wurden Maße des Lernprozesses (Zeit, Eingaben) und des Lernerfolges (Wissenstest, Handlungsaufgaben).

Im Rahmen eines klassischen Lernexperiments im Labor wurde in einer ersten Testreihe kein oder eins der 3 Tools zum freiwilligen Gebrauch angeboten. Die Ergebnisse zeigen, dass ein jedes Lernwerkzeug seine Nutzer in zusätzliche generative Aktivitäten verwickelt. Darüber hinaus bewirken sie auf Grund der Interaktionsmöglichkeiten, der repräsentierbaren Inhalte sowie der Visualisierungsform eine Aufmerksamkeitsfokussierung auf einzelne Lerninhalte (vgl. Brünken et al., 2003a). Demzufolge verbessert sich die Güte des mentalen Modells toolbedingt vor allem in entsprechenden Teilfacetten. Der statistische Vergleich dieser Ergebnisse mit älteren Daten einer parallelen Testreihe (Wipper, 2004) ergab keine bedeutenden Unterschiede, was auf eine Allgemeingültigkeit dieses Effekts hinweist. Im Rahmen einer zweiten Studie wurden die 3 Werkzeuge in einer Lernumgebung kombiniert angeboten. Im Resultat ergänzten sich die fokussierenden Wirkungen der Einzelapplikationen additiv zu einem ausgeglichenen mentalen Modell. Darüber hinaus war das Leistungsniveau jener Nutzer in allen Maßen des Lernprozesses und -erfolgs konstant höher als das aller anderen Probanden.

Die Ergebnisse bestätigen die bereits existierenden Hinweise auf die eingangs erwähnte Kausalkette bzgl. des verstehenden Lernens mit Hilfe eines Computers. Ebenso konnten die sequentiellen Schritte in der Theorie zur mentalen Modellbildung über technische Systeme in den Daten nachvollzogen werden. Nutznießer dieser Arbeit sind vor allem Lehrinstanzen, denen hier ein gelungenes Beispiel für die Abstimmung von Lernziel, Lernmodell & Lernwerkzeug zur Verfügung steht.

Schlagwörter: Kognitive Lernwerkzeuge, hybrid, generative Aktivität, mentales Modell

Abstract

Computer based learning environments are said to be highly potential to foster the individual life long learning (cf. Schulmeister, 2007). Currently, several authors provide information about in which ways (e.g. Ainsworth, 2006) and how good (e.g. Vogel et al., 2006) such applications give assistance. In the light of instructional psychology the outcome of computer based learning aids can be described as a chain of causation consisting of constructivist forms of knowledge acquisition (Edelmann, 1996), generative processes (Wittrock, 1990) and digital mind tools (Jonassen, 1992). Aim of the present work is to proof this causal assumption empirically.

Therefore, a computer based learning and testing environment was set up. It based on 3 single digital mind tools, which are supposed to help learning the construction, functionality and handling of a simple deterministic plant for soap production. They are based on the theory of mental modelling of technical devices (de Kleer & Brown, 1983; Kieras, 1988). A labelling tool should encourage its users to learn the topology, a tool to build up an ordered tree of operating steps promotes the generation of an action plan, and finally a simulation helps testing that plan. Additionally, paper & pencil were provided. The measured variables cover the learning process (e.g. time, inputs) and the learning outcome (multiple-choice test, operating test).

In a first series of 4 laboratory experiments 109 students were given no or one of the digital mind tools. In result, all 3 means initiate new generative processes. But the mental models of their users are not more sophisticated in whole. There was improvement in special areas, depending on characteristics of the tools (interaction modes, representable content, and visualisation) (cf. Brünken et al., 2003a). The findings were statistically compared to older data of a parallel test series (Wipper, 2004) but only marginal differences occurred. In a further laboratory experiment 98 students were given a combination of the 3 digital mind tools mentioned above. This hybrid learning environment initiates new generative processes as well. Because of an additional combination of the focussing effects caused by the tools, the mental model of its users is comprehensively more sophisticated now. Moreover, those people reach constantly much higher scores in all measures than the other subjects.

The findings confirm the causal chain mentioned at the beginning. Furthermore, the sequent steps in the theory of mental modelling of technical devices were found in the process data. The benefits of that work are located in the development of training programs for professionals in technical areas. This work can function as a best practice example for the good fit of learning aim, theory, and tool.

Keywords: cognitive tool, hybrid tool, generative processes, mental model

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG	III
ABSTRACT	IV
INHALTSVERZEICHNIS	V
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	VIII
TABELLENVERZEICHNIS	X
ABKÜRZUNGEN	XII
1 EINFÜHRUNG	1
2 VERSTEHENDES LERNEN AUS TEXTEN	5
2.1 Lernen als konstruktiver Prozess	5
2.2 Lernen als mentale Modellbildung	6
2.2.1 Mentale Modellbildung mit Texten	7
2.2.2 Mentale Modelle über technische Systeme	8
2.3 Instruktionale Faktoren mentaler Modellbildung	11
2.4 Erhebung Mentaler Modelle	14
2.5 Fazit zum verstehenden Lernen aus Texten	15
3 LERNEN MIT ELEKTRONISCHEN MEDIEN	17
3.1 Mentale Modellbildung mit elektronischen Medien	17
3.2 Arten elektronischer Lernunterstützung	19
3.3 Wirksamkeit elektronischer Lernunterstützung	21
3.4 Instruktionale Faktoren elektronischer Lernunterstützung	22
3.5 Individuelle Determinanten des Lernens mit elektronischen Medien	24
3.6 Fazit zum Lernen mit elektronischen Medien	26
4 FRAGESTELLUNGEN & UNTERSUCHUNGSANSATZ STUDIE I	29
4.1 Vorarbeiten	29
4.2 Ergebnisse der Vorarbeiten	31

4.3	Forschungsfragen & Hypothesen	33
5	METHODIK DER STUDIE I	36
5.1	Stichprobe	36
5.2	Ablauf und experimentelle Variation	36
5.3	Lern- & Testumgebung	37
5.4	Lernmaterialien	38
5.4.1	Lernumgebung	38
5.4.2	Beschriftungswerkzeug	41
5.4.3	Operatorenwerkzeug	42
5.4.4	Simulationswerkzeug	44
5.5	Testmaterialien	46
5.5.1	Fragebogen zur Person	46
5.5.2	Fragebogen zur aktuellen Motivationslage	47
5.5.3	Wissenstest	48
5.5.4	Handlungsaufgaben	49
5.5.5	Nachbefragung	51
5.6	Vergleich der Lern- & Testumgebungen	52
5.7	Operationalisierte Hypothesen	54
5.8	Statistische Verfahren & Kennwerte	59
6	ERGEBNISSE DER STUDIE I	60
6.1	Vergleichbarkeit der Versuchsgruppen	60
6.1.1	Selektion der Stichproben	60
6.1.2	Demographische Daten & Kontrollvariablen	62
6.2	Prüfung der operationalisierten Hypothesen	63
6.2.1	Prüfung der Hypothese H1_1a	64
6.2.2	Prüfung der Hypothesen H1_2a-c	65
6.2.3	Prüfung der Hypothese H1_3a	67
6.2.4	Prüfung der Hypothese H1_4a	69
6.2.5	Prüfung der Hypothesen H1_5a-b	70
6.2.6	Prüfung der Hypothesen H1_6a-c	72
6.2.7	Prüfung der Hypothesen H1_6d-e	74
6.2.8	Prüfung der Hypothesen H1_7a-b	76
6.2.9	Ergebnisübersicht	77
7	FRAGESTELLUNG & UNTERSUCHUNGSANSATZ STUDIE II	80
8	METHODIK DER STUDIE II	83
8.1	Stichprobe	83
8.2	Kombiniertes Lernwerkzeug	83
8.3	Operationalisierte Hypothesen	85

9	ERGEBNISSE DER STUDIE II	89
9.1	Vergleichbarkeit der Versuchsgruppen	89
9.1.1	Selektion der Stichproben	89
9.1.2	Demographische Daten & Kontrollvariablen	89
9.2	Prüfung der operationalisierten Hypothesen	90
9.2.1	Prüfung der Hypothese H2_1a	91
9.2.2	Prüfung der Hypothese H2_2a-e	92
9.2.3	Prüfung der Hypothesen H2_3a	93
9.2.4	Prüfung der Hypothese H2_4a	95
9.2.5	Prüfung der Hypothesen H2_5a-b	95
9.2.6	Prüfung der Hypothesen H2_6a-b	97
9.2.7	Prüfung der Hypothesen H2_6c	99
9.2.8	Ergebnisübersicht	100
10	GESAMTERGEBNISSE	101
11	DISKUSSION	105
11.1	Diskussion der Ergebnisse	105
11.2	Diskussion der Methodik	107
12	FAZIT & AUSBLICK	111
	LITERATURVERZEICHNIS	116
	ANHANG	138
	Anhang A - Versuchsmaterialien ¹	138
	Anhang B – Ergänzende Tabellen und Übersichten STUDIE I	153
	Anhang C – Ergänzende Tabellen und Übersichten STUDIE II	165
	Anhang D – Korrelationen zwischen allen Variablen	177
	DANKSAGUNG	178

¹ Die vollständige Lern- und Testumgebung der STUDIE II kann auf schriftliche Anfrage (sebastian.kunert@hu-berlin.de) kostenfrei zur Verfügung gestellt werden.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Schematische Darstellung der mentalen Modellbildung über technische Systeme (nach de Kleer & Brown, 1983 und Kieras, 1988 in Wipper, 2004, S. 12). _____	9
Abb. 2: Cognitive theory of multimedia learning (Mayer, 2005b, S. 37). _____	18
Abb. 3: Würfelmodell zur Klassifizierung von Lernsystemen (nach Jonassen, 1992, in Wipper, 2004, S. 4). _____	20
Abb. 4: Schematische Darstellung der mentalen Modellbildung über technische Systeme (nach de Kleer & Brown, 1983 und Kieras, 1988, aus Wipper, 2004, S. 12), ergänzt um die eingesetzten Lernwerkzeuge. _____	38
Abb. 5: Screenshot des Lernziels. _____	38
Abb. 6: Screenshot der Seitenauswahl. _____	39
Abb. 7: Screenshot der Seite 1 aus der Informationsbasis. _____	40
Abb. 8: Screenshot des Beschriftungswerkzeuges. _____	42
Abb. 9: Screenshot des Operatorenwerkzeuges. _____	44
Abb. 10: Screenshot des Simulationswerkzeuges. _____	46
Abb. 11: Screenshot des Fragebogens zur Person. _____	47
Abb. 12: Screenshot des Fragebogens zur aktuellen Motivationslage. _____	48
Abb. 13: Screenshot des Wissenstest. _____	49
Abb. 14: Screenshot der Lokalisationsaufgabe. _____	50
Abb. 15: Screenshot der Steuerungsaufgabe. _____	51
Abb. 16: Screenshot des Fragebogens zu selbstberichteten Tiefenstrategien beim Lernen. _____	52
Abb. 17: Screenshot des Operatorenwerkzeuges von Schulz (2003). _____	53
Abb. 18: Qualität der Werkzeugnutzung aus STUDIE I und II. _____	61
Abb. 19: Dauer für die Rezeption von Information, das Anfertigen von Aufzeichnungen und die Toolnutzung. _____	64
Abb. 20: Zeitlicher Nutzungsverlauf der drei Lernwerkzeuge der VR _{neu} . _____	66
Abb. 21: Zeitlicher Nutzungsverlauf der drei Lernwerkzeuge aus der VR _{alt} . _____	66
Abb. 22: Antwortgüte der Items zu Makropropositionen des Wissenstests. _____	68
Abb. 23: Antwortgüte der Items des Wissenstests. _____	70
Abb. 24: Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe. _____	70

Abb. 25: Antwortgüte der topologischen Items des Wissenstests. _____	72
Abb. 26: Antwortgüte der operativen Items des Wissenstests. _____	73
Abb. 27: Lösungsqualität der Lokalisationsaufgaben. _____	75
Abb. 28: Dauer für die Rezeption von Information, das Anfertigen von Aufzeichnungen und die Toolnutzung. _____	91
Abb. 29: Zeitlicher Nutzungsverlauf der drei Teilwerkzeuge der EG _{KB} . _____	92
Abb. 30: Antwortgüte der Items zu Makropropositionen des Wissenstests. _____	94
Abb. 31: Antwortgüte der Items des Wissenstests. _____	96
Abb. 32: Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe. _____	96
Abb. 33: Antwortgüte der topologischen Items des Wissenstests. _____	97
Abb. 34: Antwortgüte der operativen Items des Wissenstests. _____	98
Abb. 35: Lösungsqualität der Lokalisationsaufgaben. _____	99
Abb. 36: Leistungsniveau aller Versuchsgruppen in verschiedenen Testvariablen. _____	102

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Phasen der Untersuchung und eingesetzte Untersuchungswerkzeuge. _____	37
Tab. 2: Anzahl der Items in den Klassen des Multiple-Choice-Tests. _____	49
Tab. 3: Überblick zu den Differenzen in der Methodik zwischen der aktuellen und der zum Vergleich herangezogenen Versuchsreihe. _____	54
Tab. 4: Übersicht zu den Hypothesen. _____	59
Tab. 5: Deskriptive Statistik der Demographie- und Kontrollvariablen - Mittelwert und Standardabweichung bzw. Modalwert bzw. Binominalverteilung. _____	62
Tab. 6: Zeit für Aufzeichnungen - Mittelwert und Standardabweichung, Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Haupteffekte innerhalb der Versuchsreihen (intra VR) und zwischen den Versuchsreihen (Inter VR). _____	64
Tab. 7: Zeit für Aufzeichnungen - Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Kontrasteffekte innerhalb der Versuchsreihen (Intra VR) und zwischen den Versuchsreihen (Inter VR). _____	65
Tab. 8: Antwortgüte der Items zu Makropropositionen des Wissenstests - Mittelwert und Standardabweichung, Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Haupteffekte innerhalb der Versuchsreihen (Intra VR) und zwischen den Versuchsreihen (Inter VR). ____	68
Tab. 9: Antwortgüte der Items zu Makropropositionen im Wissenstest - Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Kontrasteffekte innerhalb der Versuchsreihen (Intra VR) und zwischen den Versuchsreihen (Inter VR). _____	68
Tab. 10: Selbstberichtete Tiefenstrategien beim Lernen - z-standardisierter Mittelwert und Standardabweichung, Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Haupteffekte innerhalb der Versuchsreihen (Intra VR) und zwischen den Versuchsreihen (Inter VR) (z-Werte). _____	69
Tab. 11: Selbstberichtete Tiefenstrategien beim Lernen - Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Kontrasteffekte innerhalb der Versuchsreihen (Intra VR) und zwischen den Versuchsreihen (Inter VR). _____	69
Tab. 12: Antwortgüte der Items des Wissenstests und Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe - Mittelwert und Standardabweichung, Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Haupteffekte innerhalb der Versuchsreihen (Intra VR) und zwischen den Versuchsreihen (Inter VR). _____	71
Tab. 13: Antwortgüte der Items des Wissenstests und Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe - Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Kontrasteffekte innerhalb der Versuchsreihen (Intra VR) und zwischen den Versuchsreihen (Inter VR). ____	71
Tab. 14: Antwortgüte der topologischen operativen Items des Wissenstests - Mittelwert und Standardabweichung, Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Haupteffekte innerhalb der Versuchsreihen (Intra VR) und zwischen den Versuchsreihen (Inter VR). ____	73

Tab. 15: Antwortgüte der topologischen und operativen Items des Wissenstests - Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Kontrasteffekte innerhalb der Versuchsreihen (Intra VR) und zwischen den Versuchsreihen (Inter VR). _____	74
Tab. 16: Lösungsgüte der Lokalisationsaufgaben - Mittelwert und Standardabweichung, Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Haupteffekte innerhalb der Versuchsreihen (Intra VR) und zwischen den Versuchsreihen (Inter VR). _____	75
Tab. 17: Lösungsgüte der Lokalisationsaufgaben - Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Kontrasteffekte innerhalb der Versuchsreihen (Intra VR) und zwischen den Versuchsreihen (Inter VR). _____	75
Tab. 18: Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe - Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Kontrasteffekte innerhalb der Versuchsreihen (Intra VR) und zwischen den Versuchsreihen (Inter VR). _____	77
Tab. 19: Übersicht zu den Ergebnissen der STUDIE I. _____	78
Tab. 20: Deskriptive Statistik der Demographie- und Kontrollvariablen - Mittelwert & Standardabweichung bzw. Modalwert bzw. Binominalverteilung. _____	90
Tab. 21: Antwortgüte der Items zu Makropropositionen im Wissenstest - Mittelwert und Standardabweichung, aller Versuchsgruppen. _____	94
Tab. 22: Antwortgüte der Items zu Makropropositionen im Wissenstest - Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Paarvergleiche zwischen der EG _{KB} und den anderen Versuchsgruppen. _____	94
Tab. 23: Selbstberichtete Tiefenstrategien beim Lernen - Mittelwert und Standardabweichung, aller Versuchsgruppen (z-Werte). _____	95
Tab. 24: Selbstberichtete Tiefenstrategien beim Lernen - Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Paarvergleiche zwischen der EG _{KB} und den anderen Versuchsgruppen. _____	95
Tab. 25: Antwortgüte der Items des Wissenstests und Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe - Mittelwert und Standardabweichung, aller Versuchsgruppen. _____	97
Tab. 26: Antwortgüte der Items des Wissenstests und Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe - Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Paarvergleiche zwischen der EG _{KB} und den anderen Versuchsgruppen. _____	97
Tab. 27: Antwortgüte der topologischen operativen Items des Wissenstests - Mittelwert und Standardabweichung, aller Versuchsgruppen. _____	98
Tab. 28: Antwortgüte der topologischen operativen Items des Wissenstests - Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Paarvergleiche zwischen der EG _{KB} und den anderen Versuchsgruppen. _____	98
Tab. 29: Lösungsgüte der Lokalisationsaufgaben - Mittelwert und Standardabweichung aller Versuchsgruppen. _____	99
Tab. 30: Lösungsgüte der Lokalisationsaufgaben - Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Paarvergleiche zwischen der EG _{KB} und den anderen Versuchsgruppen. _____	100
Tab. 31: Übersicht zu den Ergebnissen des STUDIE II. _____	100

Abkürzungen

Textabkürzungen

Abb.	Abbildung
bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
d.h.	das heißt
et al.	(lat.) und andere
ebd	ebenda
S.	Seite
Tab.	Tabelle
vgl.	vergleiche
vs.	(lat.) gegen
u.a.	unter anderem
z.B.	zum Beispiel

Tabellenabkürzungen

+	signifikant auf dem 0,5%-Niveau
o	Trend auf dem 0,6% - 1%-Niveau
-	nicht signifikant
df	(engl.) Freiheitsgrade
EG	Effektgröße
k	Kleiner Effekt
KG	Kontrollgruppe
M	Arithmetisches Mittel
m	Mittlerer Effekt
g	Großer Effekt
SD	(engl.) Standardabweichung
Sig	Signifikanzniveau
TG	Testgröße
VG	Versuchsgruppe
VR	Versuchsreihe

Learning is an inescapable by-product of comprehension.

J. T. Mayes (Cognitive Tools, 1992)

1 Einführung

Der Übergang von der Industrie- zur Informationsgesellschaft (Bell, 1999) Anfang der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts (Porat, 1977; vgl. Schement, 1990) definierte für die Mehrheit der Beschäftigten in den westlichen Industrienationen völlig neue Anforderungen an ihre Lern- und Arbeitsfähigkeiten. Die bis dato vorherrschende Arbeitsgestaltungslehre Frederick Taylors (1911) war geprägt von tiefgreifender, funktionsorientierter Arbeitsteilung und der strikten Trennung von sogenannter Hand- und Kopfarbeit. Zugleich waren Unternehmen - orientiert am Militär - zentralistisch und bürokratisch aufgebaut (Weber, 1922). Im Mittelpunkt des Wissenserwerbes stand die Aneignung einfacher, repetitiv ausführbarer Handlungen, die in der Regel durch Experten vermittelt wurden. Im Laufe des 20. Jh. vollzog sich dann in vielen Wirtschaftsbereichen ein dramatischer Wandel. Angetrieben von neuartigen Informations- und Datenverarbeitungstechnologien, einem globalisierten Markt, immer kürzer werdenden Produktlebenszyklen und einer Bedeutungsverschiebung von der Produktion hin zu Dienstleistungen verlor die tayloristische Philosophie ihre Relevanz. In den Mittelpunkt rückten nun ganzheitlich gestaltete (Hacker, 2005), prozessorientierte Formen der Arbeitsgestaltung, die darauf abzielen, das Potential eines jeden Mitarbeiters flexibel und zeitnah abzurufen. Dementsprechend verändert sich der Fokus des Lernens hin zu der Notwendigkeit, neues Wissen selbst gesteuert und stetig, d.h. lebenslang zu erwerben (Faure, Herrera & Kaddoura, 1975). Viel wird sich an dieser Stelle von digitalen Medien versprochen, die auf Grund ihrer spezifischen Merkmale besonders geeignet zu sein scheinen, das individuelle, lebenslange Lernen zu fördern (Issing & Klimsa, 2002; Schulmeister, 2007). Dies ist der Ausgangspunkt für die Leitfrage der vorliegenden Forschungsarbeit:

Wie lässt sich das selbstgesteuerte, individuelle Lernen durch digitale Medien effektiv unterstützen?

Erste Hinweise auf eine Antwort bietet ein Blick auf die pädagogischen Grundannahmen dieser Frage. Im Zuge eines tiefgreifenden Paradigmenwechsels im Laufe des 20. Jahrhunderts wurde die bis dato vorherrschende Meinung, Lernen vollziehe sich als Transferprozess, abgelöst durch die Auffassung, dass neues Wissen durch den Lernenden individuell konstruiert werden muss (Eckardt, 2010). Hinter dieser Annahme liegt die Vorstellung, dass hinzugewonnene Informationen in das individuelle Netz mentaler Wissensstrukturen eingebettet werden müsse, um anschließend darauf zugreifen zu können. Folglich wird Lernen nicht als Übertragung von Information verstanden, sondern als Verstehensprozess. Die resultierenden Lernprinzipien bilden den Grundstein für die Entwicklung jener Lernwerkzeuge, die den zentralen Forschungsgegenstand dieser Arbeit darstellen. Der erste Abschnitt des nachfolgenden Kapitels zu den theoretischen Grundlagen dieser Arbeit ist daher dem Lernen aus konstruktivistischer Perspektive gewidmet (Abschnitt 2.1).

Das Unterkapitel 2.2 widmet sich der mentalen Modellbildung aus schriftlichen Quellen. Hier sind zwei Punkte maßgeblich: Zum Einen ist die Erstellung eines Textes die klassische Form der In-

formationsspeicherung, zum Anderen erfüllt nur ein Bruchteil existierender Medien einen pädagogischen Zweck und sind ist als explizite Handlungsvorgaben verfasst worden. In der experimentellen Forschung haben schriftlich kodierte Informationen darüber hinaus einen besonderen Mehrwert, da sie nur Lesefähigkeiten voraussetzen, einen hohen Grad an Kontrolle zulassen und das verstehende Lernen mit ihnen sehr gut untersucht ist. Auch im vorliegenden Versuchssetting dient ein mehrseitiger Text als Wissensbasis.

Eine gesonderte Form, das selbstgesteuerte verstehende Lernen zu fördern, ist die Verwendung elektronischer Medien. Computergestützte bzw. multimediale Wissensvermittlung ist aus unserer heutigen Bildungslandschaft schon jetzt kaum noch wegzudenken. Die Datenbank des Bundesinstitutes für Berufsbildung (BIBB) listet allein in Deutschland aktuell über 1400 E-Learning-Kurse von über 150 Anbietern auf². Ein Angebot, das von einer wachsenden Zahl an Unternehmen geschätzt (IBM, 2008; Schröder, Gläs, Nachtwei & Schermuly, 2010) und genutzt wird (DESTATIS, 2010). Die Gründe für diesen Trend zu Gunsten computergestützten Lernens sind vielfältig und resultieren zumeist aus dem Vergleich multimedialer mit klassischer (Präsenz-)Lehre. Aus betriebswirtschaftlicher Perspektive ergeben sich finanzielle Einsparungen durch geringeren Ressourcenverbrauch³ sowie der Möglichkeiten zeitlicher und örtlicher Flexibilität des Lernens (Mohr, 2005). Eine weitere Ursache liegt in der Möglichkeit zeitnaher Aktualisierung bzw. Anpassung des Lehrangebotes, sowohl in Bezug auf die Inhalte als auch die verwendeten Mittel (Nieke, 2008). Im Lichte der Didaktik hat sich besonders das Spektrum an verfügbaren Anwendungen enorm erweitert. Es reicht von digitalisierten Formen klassischer Lernsettings - bspw. virtuelle Klassenzimmer (Häfele & Maier-Häfele, 2008) - bis hin zu komplexen Simulationen. Hinzu kommt die Möglichkeit zur Integration all dieser Mittel in eine einzige Lernumgebung, in der simultan auf eine Vielzahl teils interdependenter Anwendungen zugegriffen werden kann (Maier-Häfele & Häfele, 2005; vgl. Hinze, 2008). Diesem Potential steht ein teilweise ausufernder Aufwand an Hard- & Software gegenüber. Desweiteren sind damit besondere Anforderungen an die Nutzer verbunden (Mohr, 2005). Der letzte Abschnitt des folgenden Theorieteils beleuchtet dieses Thema aus instruktionspsychologischer Sicht noch einmal näher und erläutert besonders das Potential computerbasierte kognitiver Lernwerkzeuge als spezifische Form elektronischer Unterstützung beim Wissenserwerb.

Vieles scheint heute - 60 Jahre nach den ersten Beiträgen (vgl. Flindt, 2005; Ravenscroft, 2003) - rund um solche digitalen Hilfsmittel ausreichend erforscht: Es existieren anerkannte Definitionen (Jonassen, 1992; Schulmeister, 2007), verschiedene theoriebasierte Modelle bzgl. ihrer Wirkweise (Ainsworth, 2006; Brünken et al., 2003a; Hede, 2002; Iiyoshi & Hannafin, 1998; Mayer, 2005b; van Merriënboer & Kester, 2005; siehe Abschnitt 3.1) und eine bedeutende Menge empirischer Studien zu ihrer Wirksamkeit (Bernard, Abrami, Yiping, Borokhovski, Wade, Wozney et al., 2004; Blumschein,

² <https://eldoc.bibb.de> (Stand 29.07.2011.).

³ Zur Kostenkalkulation stehen diverse Online-Rechner zur Verfügung, bspw. der im Auftrag von Ernst&Young programmierte Intellinex Learning Cost Calculator (<http://www.chromaphobic.com/launch/2002.03.07.html>).

2004; Kulik & Kulik, 1991; Liao, 1999; Vogel et al., 2006; siehe Abschnitt 3.3). Derzeit kreisen die meisten Forschungsbemühungen um eine Optimierung solcher Tools mittels geeigneter Gestaltungsgesetze (Mayer, 2005d). Letzteren ist ihr behavioristischer Grundgedanke gemein, nachdem der Multimedia-Einsatz per se eine Reaktion auf der beobachtbaren Verhaltensebene (gemessener Lernerfolg) auslöst. Die diesen Effekten zu Grunde liegenden kognitiven Prozesse bleiben aber i.d.R. (besonders in Meta-Analysen) unbeleuchtet (vgl. Clark, 2001; Mayer, 2005d; Schulmeister, 2007). Zunehmend setzt sich die Einsicht durch, dass die eigentlich lernförderlichen Faktoren nicht in der Gestaltung computergestützter Lernumgebungen selbst als vielmehr in den durch sie initiierten kognitiven Prozessen zu suchen sind (Bartos, 2004; Elshout, 1992; Kozma, 1994; Mayes, 1994). Diesbezüglich sind jedoch noch immer viele Fragen offen:

- Können computerbasierte kognitive Lernwerkzeuge einen (spezifischen) Beitrag zum verstehenden Lernen leisten?
- Welche kognitiven Prozesse muss eine solche Unterstützungsfunktion beim Nutzer initiieren, damit eine Verbesserung der mentalen Modellbildung eintritt?
- Lassen sich so empirisch begründete Konstruktionsregeln für computergestützte kognitive Lernwerkzeuge ableiten, um die gewünschten Wirkungen sicherstellen?

Die STUDIE I geht diesen Fragen auf den Grund. Sie werden zu Beginn in Kapitel 4 detaillierter hergeleitet und ausformuliert. Eine Besonderheit in diesem Experiment liegt in der Integration der Ergebnisse einer ähnlichen Studie. Im Vorfeld der vorliegenden Arbeit gingen mehrere Autoren bereits den gleichen Fragestellungen nach und kamen zu einer Reihe positiver Aussagen bzgl. der lernförderlichen Wirkung digitaler Lernwerkzeuge. Ziel der STUDIE I ist es, die dort erzielten Befunde anhand einer neuen Stichprobe, einem veränderten Lerngegenstand sowie einem verbesserten Werkzeug zu replizieren, um somit einen Beitrag zur Verallgemeinerung dieser Erkenntnisse zu leisten.

Anschließend werden im Kapitel 5 die verwendeten Methoden beschrieben. Im Zentrum dieses Abschnitts steht die Konstruktion der computergestützten Lern- und Testumgebung sowie der kognitiven Lernwerkzeuge. Sie basieren auf einem Modell über den Wissenserwerb bzgl. technischer Systeme, wie es de Kleer & Brown (1983) und Kieras (1988) postulierten. Es enthält drei sequentiell aufeinander folgende Stadien der Bildung eines mentalen Modells. Dies eröffnet die Möglichkeit, jede dieser Stufen durch ein separates Lernwerkzeug zu unterstützen. Im Kapitel 6 sind die so erzielten Ergebnisse aufgeführt.

Bereits in den Vorgängerstudien gelang es, einen spezifischen - d.h. nicht durch andere Werkzeuge zu ersetzenden - Effekt der verwendeten kognitiven Lernwerkzeuge auf den Wissenserwerb auszuweisen und den zugrunde liegenden Wirkmechanismus zu extrahieren. Dort zeigte sich jedoch bereits eine bedeutende Kehrseite. Aufgrund der Eigenschaft solcher Tools, seine Nutzer auf Informationen fokussieren zu lassen, die für eine effektive Nutzung des Werkzeuges relevant sind, besteht die Gefahr, dass alle anderen, für nicht relevant gehaltenen Informationen ausgeblendet werden. Dadurch

entsteht bei den Lernenden der Eindruck, sich selektiv alles Wissenswerte angeeignet zu haben. Dieses Phänomen der Wissensillusion (Kintsch & Kintsch, 1995) führt meist zu einem unzureichenden mentalen Modell des Lerngegenstandes. Die Lösung des Dilemmas könnte in einer multipel angereicherten Lernumgebung liegen, welche aus mehreren Lernwerkzeugen besteht. Dadurch bestünde die Möglichkeit, die fokussierenden Wirkungen der einzelnen Werkzeuge so zu kombinieren, dass es zu einem ausgeglicheneren Wissenserwerb kommt. Diese Idee wird im Rahmen des STUDIE II überprüft. Die entsprechende Leitfrage lautet:

Lässt sich ein werkzeugabhängiger fokussierender Effekt durch den kombinierten Einsatz mehrerer digitaler Lernhilfen verhindern?

In den Kapiteln 7 und 8 wird diese Forschungsfrage detailliert hergeleitet und methodisch angegangen. Darin zeigt sich u.a., dass die Verwendung verschiedener, simultan angebotener Lernhilfen eines der am wenigsten beleuchteten Teilgebiete innerhalb der Instruktionspsychologie ist. Nur sehr wenige Untersuchungen widmeten sich bislang den Fragen nach einer geeigneten theoretischen Fundierung solcher Umgebungen, ihrer konkreten Ausgestaltung sowie ihres adäquaten Gebrauchs, um einen maximalen Lernerfolg zu erzielen. An dieser Stelle verortet sich zudem das zentrale Alleinstellungsmerkmal der vorliegenden Forschungsarbeit: Durch eine separate Testung der Einzelwerkzeuge (in STUDIE I) lassen sich die lernförderlichen Effekte eines kombinierten Tools (STUDIE II) weit differenzierter bewerten als dies bislang möglich war. Die entsprechenden Ergebnisse werden in Kapitel 9 präsentiert.

Die Kapitel 10 und 11 widmen sich einer gesamthaften Betrachtung aller erzielten Befunde und ihrer Einbettung in den wissenschaftlichen Diskurs, gefolgt von einer Diskussion methodischer Kritikpunkte. Ergänzend kommen im abschließenden Kapitel 12 konkrete Ableitungen für die instruktionspsychologische Praxis und ein Ausblick auf fortführende Forschungsarbeiten hinzu. Im Anhang werden alle Versuchsmaterialien präsentiert und ergänzende statistische Kenngrößen berichtet.

2 Verstehendes Lernen aus Texten

Die folgenden zwei Kapitel sollen einen Überblick zum aktuellen Stand der Diskussion in den zwei für diese Arbeit relevanten Domänen *Verstehendes Lernen aus Texten* und *Lernen mit elektronischen Medien* geben. In jedem Abschnitt wird jeweils der für diese Arbeit maßgebliche theoretische Ansatz näher erläutert und diskutiert.

2.1 Lernen als konstruktiver Prozess

Die klassische Instruktionspsychologie fußt auf dem Begriff des Wissenstransfers (Bednar, Cunningham, Duffy & Perry, 1992), in dem der Schüler als weitestgehend passiver Rezipient vorgegebener Wissensinhalte betrachtet wird. Dieses Verständnis des Lernens als Übertragungsprozess beruht im Wesentlichen auf dem von Harsdörffer (1647) geprägten Bild des *Nürnberger Trichters*. Der Autor verfasste seinerzeit eine Art Lehrbuch zur Vermittlung poetischer Fähigkeiten, in der eine mechanistische Lehrmeinung zum Tragen kommt, die auch weit bis ins letzte Jahrhundert hinein Anhänger fand (bspw. Watson, 1968). Nach jenem konventionellen Verständnis ‚Programmierter Instruktion‘ (Snelbecker, 1983) ist es die Aufgabe einer externen Instanz, einen Wissensbedarf beim Lerner zu diagnostizieren, die fehlenden Wissensinhalte zu definieren, geeignete Methoden der Wissensvermittlung auszuwählen, anzuwenden und (bestenfalls) abschließend den Transfererfolg zu kontrollieren (Leshin, Pollock & Reigeluth, 1994).

Im Gegensatz dazu steht das Konzept der *Autopoiese*, wie es bspw. Maturana & Varela (1984) in ihrem Buch *Der Baum der Erkenntnis (El Árbol del Conocimiento)* beschrieben haben. Sie vertreten die Auffassung, dass der Aufbau und die Funktionsweise des menschlichen Nervensystems keine objektive Wahrnehmung der Umwelt zulassen. Realitätsausschnitte (Objekte, Personen, Situationen) sind lediglich (wiederkehrende) Aktivitätszustände des Nervensystems. Zugleich ist das menschliche Gehirn selbstreferentiell, d.h. rekursiv organisiert: Es entwickelt die eigene Struktur fortlaufend aus sich selbst heraus (vgl. Roth, 2005). Damit ist der Mensch von Natur aus ein so genanntes nicht-triviales System, dessen innere Wirkmechanismen im Grundsatz sowohl unbekannt als auch einer kontinuierlichen Veränderung unterworfen sind. Eine exakte Vorhersage seines Verhaltens ist somit a priori nicht machbar. In der Folge ergibt sich die Einsicht, dass menschlichen Veränderungsprozesse nicht direkt durch Instruktion erfolgen, sondern lediglich durch Perturbation (Verstörung) initiiert werden können.

In der Psychologie fand diese Sichtweise schon sehr früh in ihrer Geschichte Einzug, bspw. in der Gestaltpsychologie (Köhler, 1929) und dem symbolischen Interaktionismus (Mead, 1934). Sie setzte sich aber erst im Zuge der so genannten kognitiven Wende zu Beginn der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts weitestgehend durch (eine ausführliche Historie findet sich bei Eckardt, 2010). Für die Instruktionspsychologie ergaben sich damit völlig neuartige Anforderungen. Wenn Lehren nicht länger bedeutete, neues Wissen strukturgeleich zu übertragen, sondern mentale Aktivitäten der Realitäts-

konstruktion anzuregen, stellt sich auch die Methodenfrage völlig neu. Gefordert sind Techniken zur Initiierung von Informationsverarbeitungsprozessen, die das Verstehen - betrachtet als Einbettung neuer Informationen in das existierende kognitive Wissensnetzwerk (Edelmann, 1996; Norman, Rumelhart, Abrahamson & Aebli, 1978; Wittrock, 1992) - des betreffenden Sachverhaltes zum Ziel haben. Die Abhängigkeit von der „Anschlussfähigkeit an Bestehendes“ (Orthey, 2005, S. 189) stellt jedwede Unterstützungsinstrumente vor die Aufgabe, den Lernprozess möglichst aktiv, kumulativ, situativ und zielorientiert zu gestalten (vgl. Mayer, 1999). Das Behalten - verstanden als Zugänglichkeit der Informationen im Wissensnetzwerk - ist dann letztlich das schlichte Nebenprodukt dieses Prozesses (Mayes, 1992).

Es stellt sich die Frage, ob mit Hilfe digitaler Medien Lernhilfen entworfen werden können, die diesen Ansprüchen genügen. Sowohl aus der nachfolgend umrissenen Forschung zum verstehenden Lernen mit Texten als auch zum Lernen mit elektronischen Medien lassen sich diesbezüglich erste Erkenntnisse ableiten.

2.2 Lernen als mentale Modellbildung

Das verstehende Lernen im konstruktivistischen Sinne ist seit langem Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. In der Folge herrscht derzeit weitestgehend Einigkeit über die dabei ablaufenden Denkprozesse. Eine zentrale Rolle spielen an dieser Stelle ganzheitliche kognitive Repräsentationen, für die es zahlreiche Beschreibungen gibt (Collins, Brown & Larkin, 1980; Craik & Lockhart, 1972; Minsky, 1975; Sanford & Garrod, 1981; Schank & Abelson, 1977), unter denen sich aber der Begriff *Mentale Modelle* (Johnson-Laird, 1983) durchgesetzt hat (Anderson, Funke & Plata, 2007; Schnotz, 1994). Craik führte ihn 1943 unter dem treffenden Namen *small scale models* in die moderne Wissenschaft ein. Dieses kognitionspsychologische Konstrukt ist aufgrund seiner ihm zugeschriebenen Eigenschaften (siehe unten) geeignet, besonders interne Repräsentationen technischer und naturwissenschaftlicher Sachverhalte zu erklären und zu messen (Mayer & Chandler, 2001). Hinzu kommen empirische Befunde, die nach Rinck (2000) mit Verweis auf van Dijk & Kintsch (1983) kaum alternativ zu erklären sind. Dazu gehört bspw. das Integrieren von Informationen über Satz- und Textgrenzen hinweg, unabhängig von Medium- und Darstellungsformen. Mentale Modelle können demnach auch erklären, weshalb Vorwissen beim Lernen eine so viel entscheidendere Rolle als kognitive Fähigkeiten spielt. Eine der einflussreichsten Theorien zur Entstehung eines mentalen Modells ist die Konstruktions-Integrations-Theorie (van Dijk & Kintsch, 1983; Kintsch & van Dijk, 1978; Kintsch, 1998), welche im Anschluss näher betrachtet werden soll. Dem folgend wird ein Ansatz vorgestellt, wie dieses Theoriegebäude auf die spezielle Domäne technischer Systeme übertragen werden kann. Zu guter letzt sollen diverse Determinanten der mentalen Modellbildung genannt und Messzugänge für die Beurteilung der Güte solcher Modelle aufgezeigt werden.

2.2.1 Mentale Modellbildung mit Texten

Kintsch und van Dijk entwickelten in ihrem Konstruktions-Integrations-Modell (van Dijk & Kintsch, 1983; Kintsch & van Dijk, 1978; Kintsch, 1998) ein umfassendes Theoriegebäude zum Textverstehen. Im Kern besteht es aus einer Abfolge von drei Schritten. Am Anfang generiert der Leser ein mentales Abbild der *Textoberfläche*, das dem Wortlaut des Textes entspricht (Stufe 1). In einem zweiten Schritt werden Abschnitte daraus durch sinnvolle Verknüpfung miteinander zu *Propositionen* zusammengefügt, die den Inhalt eines Textes in seinen kleinsten Sinneinheiten darstellen (Stufe 2). Propositionen sind definiert als Prädikat-Argument-Strukturen (Schnotz, 1994), die wahr oder falsch sein können (Anderson et al., 2007). Durch Argumentenüberlappung und Argumenteneinbettung können diese diskreten Sinneinheiten miteinander verknüpft werden und es entsteht ein kohärentes mentales Gebilde, das den Umfang und die Komplexität eines beliebigen Textes vollständig wiedergibt. Wegen der begrenzten Kapazität des Arbeitsgedächtnisses (Baddeley, 2007) kann ein Leser immer nur einen Teil der im Text enthaltenen Informationen aufnehmen und verarbeiten. Aus diesem Grund postulieren Kintsch & van Dijk einen sich wiederholenden Prozess der Propositionsbildung.

Widersprüchliche empirische Befunde (Albrecht & O'Brien, 1993; Lesgold, Roth & Curtis, 1979; Sanford & Garrod, 1981, Sanford & Garrod, 1982) zwangen die Autoren zur Einführung eines ergänzenden dritten Schrittes, in dem eine weitere Verdichtung der Informationen erfolgt. Fehlen verstehensrelevante Informationen oder sind welche im Text enthalten, die sich nicht zuordnen lassen, werden Inhalte aus dem Langzeitgedächtnis (Baddeley, 2007) aktiviert und durch Inferenzbildung eine Brücke zwischen Vorwissen und neuen Informationen geschlagen (Clark, 1977; Richter, 2003). Irrelevante Informationen werden aussortiert (Selektion), sich ähnelnde zusammengefasst (Generalisierung) (van Dijk, 1977) und abschließend in das Langzeitgedächtnis des Lesers eingebettet. Dieser Prozess läuft bei jedem Textlesen automatisiert ab, variiert jedoch in seiner Vollständigkeit bzw. seiner Qualität. Er hängt in hohem Maße vom Vorwissen, den Zielen und dem Kontext des Lernens sowie von der Anstrengungsbereitschaft des Lesers ab (van Dijk, 1977; Wittrock, 1974).

Am Ende des dritten Schrittes entsteht eine übergeordnete *Superstruktur (Situationsmodell)* (van Dijk & Kintsch, 1983) bzw. ein *mentales Modell* (vgl. Johnson-Laird, 1983; Stachowiak, 1973) des im Text beschriebenen Sachverhalts (Stufe 3). Während propositionale Repräsentationen den Sachverhalt nur deskriptiv abbilden, wird er durch ein solches Modell direkt dargestellt (Glenberg, Meyer & Lindem, 1987). Dies meint nicht zwangsläufig eine physikalische Abbildung des realen Sachverhaltes, wie es bspw. Doyle & Ford (1999) vertreten. Wesentlicher ist die Funktionsanalogie, d.h. das mentale Modell muss lediglich bzgl. einiger Abbildungsmerkmale wie z. B. der „Bedienbarkeit“ mit dem Original übereinstimmen (Gentner & Gentner, 1983; Marks, 1990; vgl. Dutke, 1998). Mit anderen Worten: „*Mental models represent what the text is about. Not the text itself.*“ (Glenberg et al., 1987, S. 70). Um dies zu erreichen, muss selbst das Kriterium der Vollständigkeit nicht unbedingt erfüllt sein

(Ringelband, Misiak & Kluwe, 1990).

Solche Konzepte einer hierarchischen Ordnung in der Informationsverarbeitung und verschiedener Repräsentationsformate werden genutzt, diverse experimentelle Befunde kognitionspsychologisch zu verstehen. Ergebnisse aus Versuchen zur langfristigen Behaltensleistung (bspw. Kintsch & Keenan, 1973; Meyer, 1975), zur Integration von Textinformationen mit Vorwissen (bspw. Dutke, 1996; Tardieu, Ehrlich & Gyselinek, 1992) sowie zur Repräsentation räumlicher (bspw. Morrow, 1994), kausaler (bspw. Singer, 1996) und zeitlicher Relationen (bspw. Ohtsuka & Brewer, 1992) können auf niederen Ebenen der Informationsverarbeitung nicht erklärt werden, was als indirekter Nachweis der Existenz von Situationsmodellen angesehen wird (eine umfassende Übersicht findet sich bei Dutke, 1998).

Zwei Vorgänge, die bei der Beurteilung mentaler Modelle eine Rolle spielen, sind beim Textverstehen von zentraler Bedeutung: das Bilden von Kohärenzen und Inferenzen (siehe oben). Ersteres beschreibt einen Prozess, bei dem im Laufe der mentalen Modellbildung einzelne Informationen bereits auf Propositionsebene miteinander verknüpft werden, um sie in einen gemeinsamen Sinnzusammenhang (so genannte Makropropositionen) zu stellen. Wird dieses Vorgehen wiederum auf das gesamte propositionale Netzwerk angewendet und werden die Informationen zusätzlich in eine hierarchische Ordnung gebracht, erkennt der Leser im Laufe der Zeit die innere Struktur eines Textes, den „roten Faden“. Diese *Kohärenzbildung* (van Dijk, 1977) verläuft in enger Verbindung mit der *Inferenzbildung*. Hier werden Informationen, die nicht explizit im Text enthalten sind, mit Hilfe des Vorwissens erschlossen (Clark, 1977). Bezüglich des Ausmaßes dieser Prozesse gab es in der Vergangenheit viel Diskussion (McKoon & Ratcliff, 1992; Singer, Graesser & Trabasso, 1994). Letztlich können Inferenz-, Kohärenz- und mentale Modellbildung nicht unabhängig von einander betrachtet werden. Zum Einen entsteht im Zuge des Lesens ein mentales Modell erst durch das Inferieren von nicht erwähnten Informationen sowie durch das Erkennen der inhaltlichen Gesamtstruktur des Textes (Clark, 1977; van Dijk & Kintsch, 1983). Zum Anderen hilft ein mentales Modell beim ziehen logisch-korrektur Schlüsse und dem Erkennen eines roten Fadens (Halasz & Moran, 1983; Kieras & Bovair, 1984). Diese wechselseitigen Prozesse beschreiben Ballstaedt, Mandl, Schnotz & Tergan (1981) als auf- und absteigende Verarbeitung. Erstere beschreiben sie als *datengerieben*, da sie vom Textverstehen zum mentalen Modell verlaufen, letztere als *schemagetrieben*, was den Einfluss des mentalen Modells auf das Textverstehen meint.

2.2.2 Mentale Modelle über technische Systeme

Mentale Modelle sind nicht nur geeignet, kognitive Repräsentationen von Strukturen komplexer Sachverhalte zu erklären, sondern auch von Prozessen. Sie erlauben es, Vorgänge vor dem inneren Auge zu simulieren. Am Beispiel einer technischen Anlage würde dies bedeuten, dass der Leser die Struktur des Systems größtenteils versteht, Schlussfolgerungen darüber ziehen kann und im Stande ist,

Vorhersagen über das Systemverhalten zu treffen (Borgman, 1986).

Für eine erfolgreiche Systembedienung bedarf es laut Young (1981) sowohl eines *surrogat*-Modells, in dem die Systemkomponenten und ihre Kausalbeziehungen abgebildet sind, sowie einer Übertragung von Aufgaben zu Operationen an der Anlage. Diese Grundlagenarbeit war Ausgangspunkt für die weitere Forschung und findet sich auch in den beiden einflussreichsten Modellen in diesem Feld wieder. Payne, Squibb & Howes (1990; Payne, 2008) erweiterten Youngs Ansatz in ihrer *yoked space state*-Theorie und bestätigten ihn empirisch an einfachen Computeranwendungen. De Kleer & Brown (1983; vgl. auch Kluwe & Haider, 1990, Hegarty, 1991) übertrugen Youngs Arbeiten auf das Bilden eines mentalen Modells einfacher technischer Systeme. Sie postulieren einen sequenziellen zweistufigen Prozess: Im ersten Schritt erschließt sich ein Leser Wissen über die topologische Struktur des Systems, über jede seiner Komponenten sowie deren Bedienung. Durch das anschließende *envisioning* (bildhaftes Vorstellen) wird im zweiten Schritt aus diesem Faktenwissen ein Kausalmodell gebildet, welches die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zwischen den Systembestandteilen beinhaltet. Dadurch kann die Funktionsweise der Anlage mental simuliert und geprüft werden (*running*). In diese Prüfung fließen Kriterien der Konsistenz (Widerspruchsfreiheit), der Korrespondenz (Abbildungstreue) und der Robustheit (Kontextunabhängigkeit) ein. Kieras (1988) erweiterte dieses Stufenmodell auf komplexe technische Systeme mit mehreren Operatoren (Abb. 1). Für diesen Zweck ergänzt der Autor einen dritten Schritt, in dem ein Lerner aus seinem deklarativen Wissen Prozeduren zur Systembedienung inferentiell ableitet (Handlungsplan) und anwendet (Systembedienung). Das so aufgebaute *strategische Wissen* wird von Kieras als eine weitere Qualitätsstufe des mentalen Modells postuliert. Diese Art von Verständnis einer Anlage ermöglicht es dem Leser, sämtliche Systemzustände nachzuvollziehen, es zu bedienen sowie Fehler und Funktionsstörungen zu identifizieren (vgl. auch Norman, 1983).

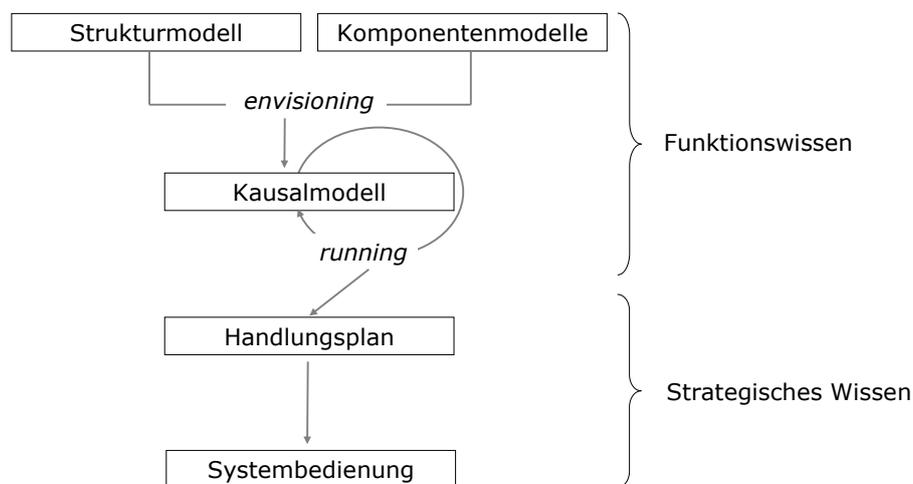


Abb. 1: Schematische Darstellung der mentalen Modellbildung über technische Systeme (nach de Kleer & Brown, 1983 und Kieras, 1988 in Wipper, 2004, S. 12).

Die Arbeiten von de Kleer & Brown (1983) und Kieras (1988) fanden nicht nur Zuspruch. Kluwe & Haider (1990) beispielsweise kritisierten heftig die Annahme, dass die Aneignung der drei Wissensarten sequentiell vonstatten geht. Aus ihren eigenen Beobachtungen schlossen sie, dass Versuchspersonen simultan System-, Kausal-, und Bedienungswissen erwerben, um zur Not auch auf Basis eines unvollständigen mentalen Modells Kontroll- und Steuerungsaufgaben zu lösen. Diese Meinung deckt sich mit dem oben genannten Postulat der Funktionsanalogie. Es bedeutet im Kontext technischer Systeme, dass der Lerner nicht notgedrungen die technischen Details einer Anlage verstanden haben muss. Auch lückenhafte Repräsentationen (Pechmann & Engelkamp, 1993) bzw. mit Hilfe domänfremder Analogien erstellte mentale Modelle (Gentner & Gentner, 1983) können vollkommen adäquat für die Zwecke des Lernenden sein.

Dieser scheinbare Widerspruch löst sich mit einer differenzierteren Betrachtung mentaler Modelle, wie sie Rasmussen (1979) in seiner *Morphologie funktionaler Modelle* bietet, weitestgehend auf. Er postuliert eine Rangreihe verschiedener Abstraktionsgrade solcher kognitiven Repräsentationen, beginnend bei einer *physikalischen Entsprechung* und endend mit einer rein *funktionalen Bedeutung*. Die Verortung eines mentalen Modells in der Hierarchie hängt dabei von der Aufgabenstellung ab. Wenn der Bau, die Aufrechterhaltung oder Fehlervermeidung eines technischen Systems im Mittelpunkt steht, reichen Modelle niedriger Abstraktion völlig aus. Soll dagegen der Zweck und die Aufgabe einer Anlage reflektiert werden, ist eine komplexere, verallgemeinerte Repräsentationen nötig. Zur Bedienung eines technischen Systems braucht es laut Rasmussen ein mittleres Abstraktionslevel, in dem die Systemkomponenten nicht mehr physikalisch, aber dennoch in ihrer Funktionalität repräsentiert sind.

Dies entspricht auch den Annahmen von Kluwe & Haider (1990), denen zur Folge Umfang und Komplexität des mentalen Modells einen Einfluss auf die Güte und Art der tatsächlichen Systembedienung haben. So können bspw. Versuchspersonen, denen die Topologie eine Anlage bekannt ist, diese schneller und fehlerfreier bedienen als eine Kontrollgruppe (Kluwe, 2004; Payne et al., 1990; Wipper, 2004). Diese Funktion mentaler Modelle als Handlungspläne (Bandura, 1986; Craik & Lockhart, 1972) wirkt auch wieder zurück auf ihre Entstehung. Kluwe & Haider (1990) argumentieren, dass der Detailliertheitsgrad des mentalen Modells von der wahrgenommenen Kontroll- und Steueraufgabe (wie er bspw. in einem Lernziel formuliert sein kann) abhängt. Instruktionen, die auf die Bildung eines mentalen Modells abzielen, führen bei Probanden grundsätzlich zu besseren Leistungen als alternative Lernanweisungen: die entsprechenden Personen interagieren schneller mit einem System, treffen ausgefeiltere Entscheidungen und passen sich besser neuartigen Problemstellungen an (Rowe & Cooke, 1995). In der Konsequenz ergibt sich daraus ein Wechselspiel zwischen dem Mittel (mentales Modell) und seinem Zweck (Befähigung zum Handeln): Ein Lerner wird sich nur so viel Wissen aneignen, wie er zur Bewältigung einer Aufgabe braucht und er wird die Anforderung nur so gut erfüllen, wie elaboriert seine interne Repräsentation des Systems ist.

2.3 Instruktionale Faktoren mentaler Modellbildung

Um verstehendes Lernen, also das Ausbilden eines mentalen Modells, unabhängig von den Eigenschaften des Lernenden zu fördern, sind in der Literatur vielfältige Hinweise und Erklärungsmuster zu finden. Dazu zählt unter anderem der Ansatz Generativer Aktivitäten, wie ihn Wittrock (1974; 1990) für das Lesen von Texten näher beschrieben hat und in einer großen Anzahl von Studien bestätigt wurde (eine Übersicht findet sich bei Grabowski, 2004). In seinem von Konstruktivismus geprägten Modell geht der Autor davon aus, dass es spezieller bedeutungsgenerierender kognitiver Prozesse bedarf, um einen gelesenen Sachverhalt zu verstehen und zu behalten. Er postuliert dabei einerseits *coding generative activities*, die Verknüpfungen zwischen den Textinhalten herstellen. Solche Kohärenz erzeugenden Aktivitäten können bspw. das Erstellen von Überschriften, von Zusammenfassungen, von Diagrammen, Tabellen und Kerngedanken, das Formulieren von Fragen und das Aufstellen von Lernzielen sein. Auf der anderen Seite verwendet Wittrock den Terminus *integrative generative activities*, die Verbindungen zum Vorwissen bilden. Dazu zählen für ihn die Durchführung von Demonstrationen, das Bilden von Metaphern oder Analogien, das Paraphrasieren und suchen nach Beispielen, das Herstellen von Interpretationen und Inferenzen. Interessanterweise fanden Volk & Ritchie (1999) in ihrer Studie keine signifikanten Unterschiede dieser beiden Strategien im Posttest zum Lernerfolg, jedoch eine generelle Wirkung generativer Aktivitäten.

Die Annahmen Wittrocks wurden in jüngerer Zeit auch auf multimediale Kontexte übertragen, um die positiven Effekte aus dem traditionellen Lernen für computerbasierte Lernumgebungen nutzbar zu machen⁴. Als generative Aktivitäten wurden bspw. Möglichkeiten geschaffen, digital eigene Beispiele und Szenarien zu entwerfen (Gao & Lehman, 2003) oder Textstellen hervorzuheben und zusammenfassende Notizen anzufertigen (Lee & Grabowski, 2009; Wang, Young, Barab & Guan, 1999). In all diesen Fällen investierten die Probanden mehr Energie in das Lernen und erzielten bessere Ergebnisse in einem anschließenden Wissenstest.

Dem Anfertigen von Notizen kommt in diesem Zusammenhang eine besondere Bedeutung zu, da es sich beiden Arten von generativen Lernaktivitäten zuordnen lässt. In Studien konnte der Nachweis einer lernförderlichen Wirkung für das Generieren solcher Mitschriften (Howe, 1970; Jonassen, 1984; Peper & Mayer, 1986; Stefanou, Hoffman & Vielee, 2008) erbracht werden. Erklärt werden solche Befunde meist damit, dass durch einen Rückgriff auf die Notizen das Arbeitsgedächtnis entlastet wird (Externe-Speicher-Hypothese) bzw. dass die Tätigkeit des Verfassens der Mitschriften zu tieferen Verarbeitungsprozessen führt (Enkodierungshypothese) (Jonassen, 1984). Ganz ähnliche Ergebnisse gibt es auch für das Anfertigen von Zeichnungen jeglicher Art (Alesandrini, 1984; Dean & Kulhavy, 1981; Seufert, Zander S. & Brünken R., 2007). Selbst für multimediale Lernsettings sind

⁴ Unter der URL <http://www.ed.psu.edu/NASA/genetxt.html> findet sich eine Linksammlung zur Demonstration von best practice-Beispielen, wie generative Lernaktivitäten durch internet-basierten Lernsettings initiiert werden können.

solche Effekte nachgewiesen (Barab, Young & Wang, 1999; Lee & Grabowski, 2009).

Neben generativen Aktivitäten während des Lesens spielt die Textgestaltung selbst eine entscheidende Rolle für die Tiefe der Informationsverarbeitung und damit den Lernerfolg. Kintsch & Kintsch brachen 1995 mit der noch immer weit verbreiteten Auffassung, sehr gut strukturierte Texte verbesserten per se den Lernerfolg (Sweller, 1999; vgl. Clark, Nguyen & Sweller, 2006). Laut den Autoren führe dies bei Lesern schnell zu dem Phänomen der Wissensillusion, indem sie durch die suggerierte Leichtigkeit des Textes voreilig glauben, den Inhalt verstanden und behalten zu haben. Shapiro (1998, auch van Merriënboer, Schuurman, de Croock & Paas, 2002) konnte einen solchen Effekt insbesondere für Lerner mit wenig Vorwissen nachweisen. McNamara, Kintsch, Songer & Kintsch (1996) erzielten dasselbe Ergebnis zuvor bereits bei Experten. In der Konsequenz plädieren Kintsch & Kintsch für eine kontrollierte Erschwerung des Verstehensprozesses. Dabei muss beachtet werden, dass die Leser die Fähigkeit und das nötige Wissen haben müssen, Hindernisse zu bewältigen und dass diese ein Verhalten auslösen, welches tatsächlich zu einer tieferen Verarbeitung führt. Eine solche absichtliche Behinderung des Leseflusses kann z.B. durch das bewusste Weglassen von Hinweisen auf Hierarchieebenen, Überschriften oder ein- bzw. überleitenden Sätzen realisiert werden. McNamara et al. (1996) verglichen kohärente Texte mit expositorischen, die losgelöst von einander separate Sachverhalte schildern, aber in keinem offenbaren Zusammenhang zu stehen scheinen. Erstere fördern vor allem das Behalten textnaher Informationen, letztere dagegen textfernes und inferentielles Wissen, was mit der mentalen Modellbildung assoziiert wird. Dieses umstrittene Phänomen gilt im Übrigen nicht nur für die Gestaltung von Texten. Schmidt & Bjork (1992) wiesen bspw. die lernförderliche Wirkung auch für das zufällige Stellen verschiedener Lernaufgaben inmitten des Lernprozesses und für zeitlich stark verzögertes Feedback nach.

Bis zu dieser Stelle wurden vorrangig lernförderliche Determinanten aufgeführt. Wendet man den Blick auf lernhinderliche Faktoren, so fällt er unweigerlich auf die Gefahr der mentalen Überlastung eines Lernenden. In diesem Bereich ist die *Cognitive Load Theory* (CLT) von Sweller (1988; 1999; 2005) der seit längerem dominanteste Ansatz (siehe auch Mayer, 2005d, van Merriënboer & Ayres, 2005, Paas, Renkl & Sweller, 2003). Basierend auf älteren kognitionswissenschaftlichen Arbeiten von Baddeley (1992) postuliert Sweller als Kern seiner Theorie drei verschiedene Arten der Überlastung des Arbeitsgedächtnisses: intrinsische und äußere kognitive Belastung sowie den so genannten *germane cognitive load*. Sie addieren sich zu einer Art mentaler Gesamtbelastung, welche die natürlichen Kapazitätsgrenzen eines Individuums nicht übersteigen darf, sonst kommt es zu lernhinderlichen Effekten.

Als *intrinsische Belastung* bezeichnet Sweller (2005) den kognitiven Aufwand, der geleistet werden muss, um das Lernmaterial selbst zu verstehen und im Arbeitsgedächtnis aktiv zu halten. Er ist vor allem bestimmt durch die Anzahl der zu lernenden Elemente und deren Verbindungen zueinander. Sweller postuliert eine Unabänderlichkeit dieser Belastung, da sie dem Lernmaterial inhärent und da-

mit nicht zu variieren ist. Unter *extraneous cognitive load* (ECL) versteht der Autor zu erbringende kognitive Leistungen, die sich aus der Instruktion ergeben, also der gestellten Lernaufgabe. Diese Art von Belastung ist dem Autor zufolge grundsätzlich schädlich, da sie nichts zum Lernerfolg beiträgt. Sie sollte daher so gering wie möglich gehalten werden. *Germane cognitive load* (GLC) beschreibt den mentalen Aufwand zur Integration des Lernstoffes in das Vorwissen im Langzeitgedächtnis, wodurch erst dauerhaftes und verstehendes Lernen ermöglicht wird (Paas et al., 2003). Naturgegeben sollte diese ‚Belastung‘ möglichst gefördert werden, da sich aus diesen Aktivitäten die eigentlichen gewünschten Lern-Effekte ergeben. Das Lernsetting sollte als Konsequenz so gestaltet sein, dass ECL minimiert und der GCL maximiert wird. Dazu postuliert Sweller (1999) mehrere Gestaltungsgesetze, die in den folgenden Jahren auch empirisch belegt wurden (vgl. Mayer, 2005d; van Merriënboer & Ayres, 2005). Allerdings zeigten sich bei Untersuchungen von van Merriënboer et al. (2002) schwer prädiktierbare Interaktionseffekten zwischen den Empfehlungen. In der Konsequenz bedeutet dies, dass sie nicht im einfachen Baukastenprinzip angewendet werden sollten.

Im Vorgriff auf das Untersuchungsdesign der vorliegenden Arbeit werden an dieser Stelle Anwendungsempfehlungen für das Lernen in technischen Domänen genannt. In dem Unterkapitel *Areas incorporating the use of equipment* (Sweller, 1999, S. 151) postuliert der Autor (1) das Manual in die Computeranwendung einzubetten anstatt es als separate Druckversion anzubieten, (2) Bedienanleitungen auditiv zu präsentieren und (3) die Lerner zu ermuntern, die Bedienweise aktiv aus der Anleitung zu lernen statt sie sich zufällig durch Versuch & Irrtum zu erschließen.

Swellers unbestrittener Verdienst war es, Erkenntnisse der modernen Kognitionsforschung zur verteilten Aufmerksamkeit und begrenzten Verarbeitungskapazität (Kahneman, 1973; Miller, 1956; Norman & Bobrow, 1975) auf die Instruktionspsychologie zu übertragen. Darüber hinaus helfen seine Gestaltungshinweise maßgeblich, multimediale Lernsettings zu optimieren. Allerdings ist eine entscheidende Hürde dieser Theorie bis zum heutigen Tage nicht genommen worden: In Bezug auf den *germane* und *extraneous load* „...there is no empirical evidence nor technique which allows us to discriminate between the two. We can only determine what the total CL is and how it has been affected.“ (Kirschner, 2002, S. 5). Zur Messung besagter Gesamtbelastung eignen sich als direkte Methode vor allem Leistungsparameter nach dem Zweitaufgaben-Paradigma (Brünken, Plass & Leutner, 2003b), bei den indirekten (subjektiven) Verfahren wird der Fragebogen NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988) am häufigsten eingesetzt (Hornbæk, 2006). Verfahren zur differenzierten Messung der einzelnen Belastungsarten scheitern zumeist in der praktischen Anwendung, wie zuletzt bei Struve (2010). Um trotz dieses Umstandes den positiven Effekt einer experimentellen Variation in der Lernumgebung auf das Verhältnis von *germane load* zu *extraneous load* nachzuweisen, betrachten manche Autoren den Zusammenhang aus Lernerfolg und kognitiver Gesamtbelastung (bspw. Li, 2005; van Merriënboer et al., 2002; Zumbach, 2009). Bleibt trotz komplexitätsreduzierter Instruktion der *cognitive load* gleich und zeigt sich ein unveränderter bzw. positiver Lerneffekt, so wird dies darauf

zurückgeführt, den *extraneous load* erfolgreich zu Gunsten des *germane load* reduziert zu haben. Ob allerdings eine Verknappung des Einen zwangsläufig zur Erhöhung des Anderen führt, ist unter Einsatz solcher Hilfskonstruktionen weiter völlig offen.

2.4 Erhebung Mentaler Modelle

Mentale Modelle entziehen sich grundsätzlich einer direkten Messung (Jonassen & Cho, 2008; Rowe & Cooke, 1995). Sie beschreiben keine deskriptiven, auswendig gelernten Informationen, die sich leicht messen lassen. Vielmehr handelt es sich um eine in das Vorwissen integrierte Repräsentation der realen Umwelt (siehe Abschnitt 2.2). Dieser individuelle Charakter macht es notwendig, sich auf alternativen Wegen den Umfang und die Güte mentaler Modelle zu erschließen. In der Literatur findet sich eine enorme Vielzahl von methodischen Zugängen und konkreten Verfahren, die von ihren Autoren als explizit geeignet bezeichnet werden, um mentale Modelle zu erheben (vgl. Cooke, 1999)⁵. Sie lassen sich gut in drei Klassen einteilen:

Zu den *Inhaltsorientierten Methoden* zählen sämtliche Arten von Interview- bzw. Inhaltsanalysen, die Methode des lauten Denkens mit anschließender Protokollanalyse (vgl. Langan-Fox, Code & Langfield-Smith, 2000) und Wissenstests (Bera, 2004; Ifenthaler, 2006). Diese Verfahren geben eine Antwort auf die Frage nach Art und Umfang des Gelernten. Interviews gelten hier als einer der am häufigsten eingesetzten Techniken (Cullen & Bryman, 1988). Vorteil dieser Verfahrensklasse ist ihr relativ einfacher Einsatz und die gute Adaptierbarkeit auf individuelle Fragestellungen. Die Qualität der gewonnenen Informationen und der Aufwand für ihre Aufbereitung hängen maßgeblich von der Art ihrer Erhebung ab, besonders dem Grad der Strukturiertheit und der damit einhergehenden Objektivität (vgl. Cooke, 1999; Ericsson & Simon, 1999). Ein naturgegebenes Problem dieser Klasse ist die Abhängigkeit von der verbalen Expressionsform, ergo der Verwendung sprachlicher Mittel.

Die zweite Gruppe von Methoden sind *Strukturorientierte Verfahren* (vgl. Jonassen, Beissner & Yacci, 1993b). Sie haben ihren Ursprung in dem Netzwerkmodell von Quillian (1969) und erheben die Organisationsform der Bestandteile mentaler Modelle (vgl. Langan-Fox et al., 2000). Hier finden sich sowohl allgemeine Handlungsempfehlungen, die mehrere Einzel-Techniken umfassen (Carley & Palmquist, 1992; Cooke, 1994; vgl. Jonassen, Beissner & Yacci, 1993a) als auch ausgereifte singuläre Verfahren zur Datenerhebung (Daniels, de Chematony & Johnson, 1995; Kelly, 1955) und Datenauswertung mittels inferenz-statistischer Prozeduren (Kruskal & Wish, 2005; Schvaneveldt, 1990). Hervorzuheben ist die lange Tradition dieser Verfahrensklasse, wodurch sich ein elaborierter Methodenkanon herausgebildet hat. Bedenkenswert ist allerdings der meist hohe Ressourceneinsatz für die Datenerhebung und -auswertung (vgl. Eckert, 1998).

⁵ Eine Übersicht mitsamt geeigneter Auswertungssoftware findet sich auf <http://mentalmodelassessment.org>.

Anwendungsorientierte Verfahren dagegen ermitteln Umfang und Güte eines mentalen Modells indirekt über die praktische Anwendung des Wissens (Langan-Fox et al., 2000). Sie basieren in der Regel auf einem Expertenrating der gezeigten Leistung (bspw. Rowe & Cooke, 1995). Als konkrete Umsetzungsbeispiele finden sich hier teilnehmende Beobachtungsstudien (Meyer, 1992), Simulationen (Hoffman, Shadbolt, Burton & Klein, 1995) oder auch log-file-Analysen (Berendt, 2006). Ihr Vorteil liegt in der Unabhängigkeit von der Verbalisierung sowie der Möglichkeit, sie im freien Feld durchzuführen. Zudem wird so prozedurales Wissen (Anderson, 1976) als weitere Komponente in die Messung mentaler Modelle einbezogen. Problematisch erscheint vor allem der konzeptionelle Ansatz, die Güte des mentalen Modells als Voraussetzung guter Performance zu verstehen, um somit von letzterem auf ersteres zu schließen (vgl. Berendt, 2006). Wie bereits in Abschnitt 2.2.1 erläutert, können Personen mit unvollständigen oder gar sachlich falschen mentalen Vorstellungen trotzdem adäquate Handlungen ausführen.

Einige Autoren unternahmen den Versuch, die verschiedenen Messmethoden nach ihrer Qualität zu bewerten. So entstand bspw. bei Rowe & Cooke (1995) eine Rangreihe bestehend aus einem Verbalprotokoll, Interview (beides inhaltsorientierte Verfahren), Zusammenhangsbewertungen und dem Zeichnen von Diagrammen (beides als strukturorientierte Verfahren eingesetzt), für die eine weitere Technik, ein Performance-Rating durch Experten (ein anwendungsorientiertes Verfahren), der Maßstab war. Ein solches Vorgehen impliziert, dass letztere Verfahrensklasse in diesem konkreten Problembereich die adäquate Erhebungsform sei. Cooke (1999) gibt in diesem Zusammenhang zu bedenken, dass die verschiedenen Techniken meist auf einen bestimmten Typ von Wissen zugeschnitten sind und sich eher ergänzen als ersetzen. So finden sich mehrere Hinweise darauf, dass die Ergebnisse der drei oben genannten Messklassen teils sehr gering korrelieren (Broadbent, Fitzgerald & Broadbent, 1986; Cooke & Breedin, 1994; Geiwitz, Kornell & McCloskey, 1990). Letztlich ist die Wahl der Methode vor allem von der konkreten Fragestellung abhängig und bedarf immer einer individuellen Adaption.

2.5 Fazit zum verstehenden Lernen aus Texten

In der Rückbetrachtung ergibt sich für die Domäne des verstehenden Lernens ein recht klares Bild. Demnach lässt sich diese Art der Wissensaneignung als sinnstiftende Integration neuer Information in das bestehende Wissensnetzwerk eines Menschen begreifen (Edelmann, 1996; Norman et al., 1978; Wittrock, 1992). Diese Prozesse können als kognitive Aktivitäten unterschiedlicher Tiefe aufgefasst werden (van Dijk & Kintsch, 1983; Kintsch & van Dijk, 1978; Kintsch, 1998), an deren Ende eine gedankliche Konstruktion steht, die den Lerngegenstand mental direkt darstellt (Glenberg et al., 1987). Um die Bildung solcher Situationsmodelle zu fördern, bedarf es vor allem bedeutungsgenerierender Aktivitäten (Wittrock, 1990; Paas et al., 2003), welche durch gezielt gesetzte Lernhindernisse und geeignete Instruktionen angeregt werden sollten. Dem steht die Warnung vor Überforderung ent-

gegen (Sweller 1988; 1999; 2005). Demnach sollte sich eine gute Lernumgebung durch eine niedrige Komplexität und einfache Handhabbarkeit auszeichnen. Zur Lösung dieses scheinbaren Widerspruchs kann ein Blick auf die jeweiligen Ziele der beiden Forschungstraditionen hilfreich sein. Während letztgenannte Autoren den Focus auf die Optimierung des Inputs - Lernanstrengung, mentale Belastung, Lernzeit - legen (vgl. Mayer, 2005d; Sweller, 1999), wollen Vertreter der konstruktivistischen Instruktionspsychologie vor allem den Output - langfristige Behaltensleistung, generalisiertes anwendungsorientiertes Wissen - optimieren (vgl. Payne, 2008; Schmidt & Bjork, 1992). Im Grundansatz schließen sie sich jedoch nicht aus, sondern können sich bei näherer Betrachtung sogar ergänzen. Voraussetzung dafür sind sorgfältig gestaltete Lernhilfen, in denen bspw. einige wenige Lernhindernisse instruktionspsychologisch intendiert eingesetzt sind (Kintsch & Kintsch, 1995; Schmidt & Bjork, 1992), um tiefere Informationsverarbeitung anzuregen, während andere, unbeabsichtigte Hürden zum Zwecke einer unnötigen mentalen Überlastung vermieden werden. Was all dies für das Lernen mit elektronischen Medien bedeutet, wird im folgenden Kapitel näher erläutert.

3 Lernen mit elektronischen Medien

Seit den frühesten Entwicklungen elektronischer Medien gibt es die Vision, mit ihrer Hilfe Lernprozesse zu unterstützen. Was vor 60 Jahren Heilig (1955 in Köhler, Kahnwald & Reitmaier, 2008) als multisensorisches Theater *Sensorama* beschrieb, sind heute computergestützte multimediale Lernumgebungen. Solche Systeme agieren rechnergesteuert, sie müssen mehrere Medienarten integrieren, sollen Informationen digital verarbeiten und Interaktivität zulassen (Fluckiger, 1996; für eine ausführliche Diskussion des Begriffes siehe Schulmeister, 2007).

Zur Erklärung mentaler Modellbildung durch Multimedia existiert eine Vielzahl von Modellen. Die meisten von ihnen verknüpfen Struktur- & Prozessvariablen für erfolgreiches Lernen miteinander, um in der Folge zu Gestaltungsempfehlungen zu gelangen. Mit Sicherheit ist die *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (CTML) von Mayer (2005b) der derzeit dominanteste Ansatz (vgl. Ainsworth, 2008). Jedoch existieren in der Forschungslandschaft alternative Herangehensweisen (bspw. Ainsworth, 2006; Brünken et al., 2003a; Hede, 2002; Iiyoshi & Hannafin, 1998; van Merriënboer & Kester, 2005), welche teilweise die Kritikpunkte an Mayer erfolgreich versuchen auszugleichen. Auf Grund ihrer Popularität und der besonderen Eignung für die vorliegende Arbeit soll im Folgenden die CTML etwas genauer betrachtet werden. Im Anschluss daran werden - parallel zum vorangegangenen Unterkapitel - auch hier wesentliche Bestimmungsfaktoren für das Lernen mit elektronischer Unterstützung genannt. Hinzu kommt ein Überblick zu den verschiedenen Arten multimedialer Hilfsysteme.

3.1 Mentale Modellbildung mit elektronischen Medien

Die *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (Mayer, 2005b) vereint auf eklektizistische Art die gängigsten Ansätze des traditionellen Lernens und überträgt sie auf den Bereich der Multimedia. Mit Hilfe der sich daraus ergebenden Annahmen trifft der Autor Aussagen darüber, wie multimediale Informationen aufbereitet werden müssen, um lernförderlich zu wirken. Mayer postuliert in seinem Modell zwei getrennte, verschieden kognitiv verarbeitete Präsentationsformate für verbale und non-verbale Informationen (vgl. Paivio, 1986), die Verwendung verschiedener Stationen der Informationsverarbeitung und -speicherung (vgl. Atkinson & Shiffrin, 1968), eine begrenzte kognitive Verarbeitungskapazität (vgl. Baddeley, 2007; Sweller, 1999), der separaten Verarbeitung visueller und auditiver Informationen (vgl. Baddeley, 2007; Schnotz, 2002, 2005) sowie die unterstützende Wirkung generativer Lernaktivitäten (Wittrock, 1990).

Im Wesentlichen verläuft nach diesem Modell die Informationsverarbeitung (Abb. 2) folgendermaßen: Inhalte werden als Worte bzw. Bilder (multimedial) präsentiert und in Form eines exakten Abbildes in einem sensorischen Speicher kurz festgehalten. Aus diesem werden, einer begrenzten Kapazität geschuldet, einzelne Informationselemente entnommen und im Arbeitsgedächtnis weiterver-

arbeitet. An dieser Stelle findet ein Abgleich und die Zusammenführung der inhaltlichen Teilmengen statt. In einem letzten Schritt wird mit Hilfe des Langzeitgedächtnisses ein mentales Modell des beschriebenen Sachverhalts erstellt. Der gesamte Prozess ist willentlich gesteuert und erfordert kognitive Anstrengungen.

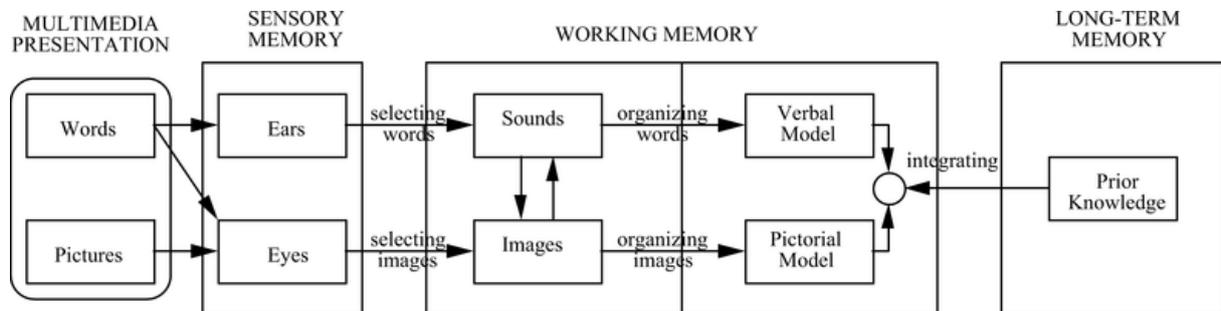


Abb. 2: Cognitive theory of multimedia learning (Mayer, 2005b, S. 37).

Ähnlich zu Sweller (1999; 2005) und anderen Autoren (bspw. van Merriënboer & Kester, 2005) leitet sich die Relevanz dieser Theorie für Untersuchungen multimedialer Lernumgebungen aus den umfangreichen Gestaltungsprinzipien für computergestützte kognitive Lernwerkzeuge ab. Sie sollen mehrere Kanäle der Informationsaufnahme und -verarbeitung nutzbar machen, den Lernenden vor kognitiver Überlastung schützen und lernförderliche kognitive Prozesse initiieren. Mayer und Kollegen (2005d) postulieren zwölf Grundsatz-Empfehlungen sowie neun erweiterte Gestaltungsprinzipien, die allesamt mit meist eigenen empirischen Studien belegt werden.

Allerdings ist die enorme Anzahl von Gestaltungsempfehlungen in ihrer Gänze nur schwer umsetzbar und ihre empirische Grundlage äußerst heterogen (Schnotz & Bannert, 2003). Einen ersten Ansatz zur Reduktion betreibt Mayer, wenn er einzelne Prinzipien zu thematischen Blöcken zusammenfasst. Darüber hinaus bauen begriffliche Unschärfen und streckenweise Redundanzen unnötige Hürden für die Umsetzung seiner Empfehlungen auf (vgl. Rey, 2008). Trotz dieser kritischen Aspekte haben sich speziell die folgenden drei Hinweise bewährt und sollen für die Gestaltung der vorliegenden Untersuchung besondere Beachtung finden:

1. *Das Modalitätsprinzip:* Diese Gestaltungsempfehlung besagt, dass verschiedene Lerninhalte auf getrennten Wegen präsentiert werden sollten, um mehrere Kanäle der Informationsaufnahme bzw. -verarbeitung zu nutzen (Low & Mayer, 2005; van Merriënboer & Kester, 2005; Sweller, 1999). Unter Berücksichtigung des *Redundanzprinzips* (Mayer, 2005a; Sweller, 1999), nach dem die mehrfache Darbietung derselben Informationen auf verschiedenen Wegen vermieden werden sollte, kann somit eine effektivere Auslastung der kognitiven Ressourcen erreicht werden.
2. *Das Segmentierungsprinzip:* Dieses Prinzip bezeichnet die Möglichkeit des Lerners, die Geschwindigkeit der Informationsdarbietung selbst zu steuern und somit Art und Pensum der Lernunterstützung zu kontrollieren (Mayer, 2005c; vgl. Jonassen, 1992).
3. *Das Prinzip der geführten Entdeckung:* Demnach ist der Lernerfolg höher, wenn es zum Lernmaterial eine Aufgabe gibt, die als Leitlinie im Lernprozess dient (de Jong, 2005; vgl. Kluwe & Haider, 1990).

Der Ansatz von Mayer (2005b) ist nicht frei von Widersprüchen. So versucht der Autor bspw. Annahmen über den Verarbeitungsweg geschriebener Texte (bei Schnotz & Bannert und Paivio sind sie abhängig vom medialen Präsentationsformat, bei Baddeley sind sie abhängig vom mentalen Repräsentationsformat) miteinander zu vereinen, indem er auf die nicht näher beschriebene Fähigkeit zur Konvertierung in verschiedene Formate sowie auf den Bedarf weiterer Forschung in diesem Gebiet verweist (vgl. Schnotz & Bannert, 2003). Auch stellen die Ergebnisse von Römer (2005) und Schulz (2004), die im Rahmen dieser Forschungsreihe ermittelt wurden, das *Split-Attention-Prinzip* (Ayres & Mayer, 2005) in Frage. Es besagt, dass multimediale Lerninhalte räumlich und zeitlich integriert dargeboten werden sollten, um den kognitiven Workload zu reduzieren. In den Untersuchungen der beiden Autoren erzielten Probanden, denen Textinformationen und unterstützende Animation gleichzeitig dargeboten wurden, weit geringere Lernergebnisse als die Probanden einer Vergleichsstichprobe, denen diese Elemente separat gezeigt wurden. Begründet wurde dieser Effekt mit einem Grundsatz Mayers, der Initiierung generativer Lernaktivitäten (Mayer, 2005b; vgl. Wittrock, 1990): Römer und Schulz schlussfolgerten, dass es gewisser, wohl gesetzter Hürden im Lernprozess braucht, damit generative Lernaktivitäten angeregt werden und die Probanden nicht der Wissensillusion (Kintsch & Kintsch, 1995) erliegen.

3.2 Arten elektronischer Lernunterstützung

Um Lernenden multimedial unter die Arme zu greifen, hat sich eine enorme Vielfalt verschiedener computergestützter Ansätze mit völlig unterschiedlichen Funktionalitäten herausgebildet (vgl. Iiyoshi, Hannafin & Wang, 2005; Jonassen, Carr & Yueh, 1998; Köhler et al., 2008; Schulmeister, 2007). Solche *mind tools* (Jonassen, 2000) genannten Werkzeuge - sie begegnen einem auch als *cognitive learning tools* (van Joolingen, 1999), in *open ended-* bzw. *hypermedia learning environments* (Iiyoshi & Hannafin, 1998; Liu & Bera, 2005) oder als *learning object systems* (Bannan-Ritland, Dabbagh & Murphy, 2002) - sind als Instrumente definiert, die kognitive Prozesse beim Lernenden anstoßen oder unterstützen sollen (van Joolingen, 1999). Schulmeister (2007) bezeichnet sie sehr treffend als „*kreative Extensionen für die intellektuelle Arbeit*“ (S. 5). Bartos (2004) zählt als Vorteile solcher Lernhilfen ihre hohe Wirtschaftlichkeit auf, ihre zeit-, orts- und personenunabhängige Anwendung (siehe Kapitel 1) sowie die Möglichkeit der flexiblen Anpassung an den Nutzer und seinen Lernstil. Wie sich im Folgenden zeigt, sind sie immer auch Ausdruck variierender didaktischer Grundannahmen.

Jonassen (1992) entwarf ein dreidimensionales Würfelmodell zur Klassifizierung von Eigenschaften der Systemgestaltung computergestützter kognitiver Lernwerkzeuge (Abb. 3, alternative Modelle finden sich u.a. bei Iiyoshi & Hannafin, 1998; de Jong, Ainsworth, Dobson, van der Hulst, Levonen, Reimann et al., 1998; Midoro, Olimpo, Persico & Sarti, 1991 in Schulmeister, 2007). Darin symbolisiert die erste Dimension *Engagement* das Ausmaß an Einbeziehung bzw. Aktivierung des

Lerners durch das Tool. Die zweite Dimension *Generativity* beschreibt, in wie fern das Lernmaterial vom Computer präsentiert (ähnlich einem Buch) oder vom Nutzer selbst generiert wird. Die dritte Dimension *Control* bildet die Stärke der Lernerkontrolle über den Lernprozess ab (z.B. die Wahl der geeigneten Lernstrategie oder die Abfolge der Informationsdarbietung).

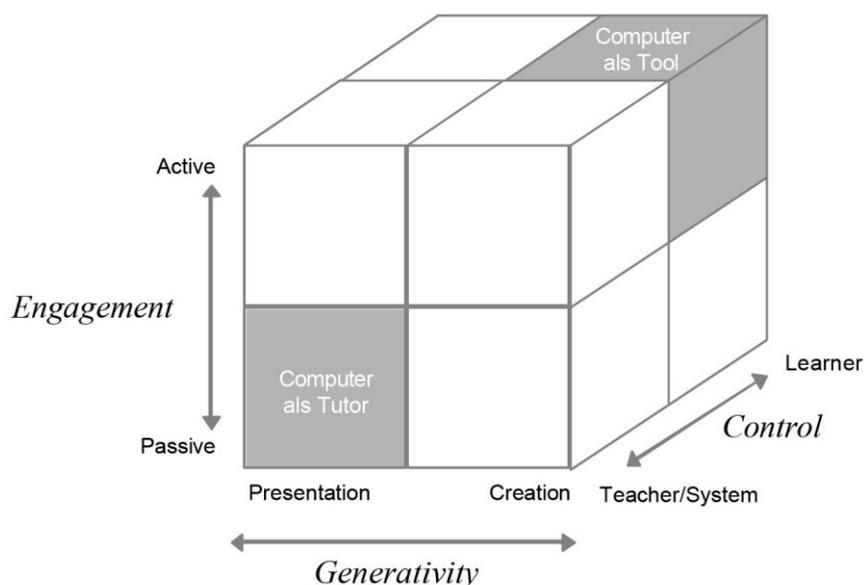


Abb. 3: Würfelmodell zur Klassifizierung von Lernsystemen (nach Jonassen, 1992, in Wipper, 2004, S. 4).

Vergleicht man die beiden Extreme auf den drei Dimensionen bei Jonassen (1992), ergeben sich zwei Prototypen computergestützter kognitiver Lernwerkzeuge: Einerseits Programme, in denen der Computer als *Tutor* fungiert. Sie versetzen den Lerner in eine rundum passive Rolle, in der er Informationen systemgesteuert dargeboten bekommt. Durch simple Frage-Antwort-Technik wird der Wissenszustand des Anwenders ermittelt und bestimmt fortan den weiteren Verlauf des Lernvorganges. Es folgt damit einem behavioristischen Modell, bei dem der Lernstoff - wie beim Nürnberger Trichter (Harsdörffer, 1647) - einfach übermittelt wird und sich strukturgleich im Kopf des Lerners verankern soll (vgl. Duffy & Jonassen, 1992; Kritzenberger, 2005).

In Programmen, die dagegen unter konstruktivistischen Gesichtspunkten als *Tool* konzipiert sind, gewinnt der Nutzer eine aktive Rolle. In dieser behält er die Kontrolle über den Lernprozess, genauer über Art, Ausmaß und Reihenfolge der Nutzung verfügbarer Ressourcen (Iiyoshi et al., 2005). Das Tool wird hier nicht zur bloßen digitalen Präsentation von Information verwendet, sondern um Wissen zu externalisieren und aufzubereiten. Es begünstigt damit einen individuellen Erkenntnisprozess (vgl. Peylo, 2002). Die Meta-Analyse von Vogel et al. (2006) stützt diese Argumentation empirisch.

Computergestützte kognitive Lernwerkzeuge im Sinne eines Tools (Jonassen, 1992) sind aufgrund der Ansprüche an ihre Funktionalität in einigen Konstruktionsprinzipien gleich. Abgesehen von

den bereits erwähnten Grundsätzen der aktiven, generativen und kontrollierenden Rolle des Lerners enthalten sie keine expliziten Instruktionen, die ihren Gebrauch bzw. das Lernen im Allgemeinen betreffen. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass allein ihre Funktionalität einen optimalen Gebrauch nahe legt (Jonassen & Reeves, 1996). Gelungene (Baartz, 2001; Liu & Bera, 2005; Majewski, 2002) wie misslungene Beispiele (Oliver & Hannafin, 2000; Schulz, 2003) zeigen, wie aufwändig es ist, diesem Anspruch gerecht zu werden. Desweiteren sind kognitive Lernwerkzeuge weitestgehend inhaltsleer, d.h. sie geben keine bedeutungshaltigen Symbole oder Abbildungen vor, sondern bieten Raum für die Wissensrepräsentation durch den Lerner. Damit sind sie funktional betrachtet eine Art weißes Blatt Papier (Hokanson & Hooper, 2000).

Diese Punkte sind keineswegs unumstritten. Iiyoshi et al. (2005; vgl. auch Azevedo & Jacobson, 2008; Bodemer & Faust, 2006; Lajoie, Lavigne, Guerrero & Munsie, 2001) betrachten beispielsweise direkte Instruktionen zum ‚richtigen‘ Gebrauch eines Tools (auch als *scaffolding* bezeichnet) als empfehlenswerte Möglichkeit, die kognitive Überlastung (vgl. Sweller, 1999) einzugrenzen, die sich aus der Toolbedienung ergibt. Land (2000) geht bedeutend weiter und rät, darüber hinaus, Schlüsselinformationen visuell zu akzentuieren, die Vorwissensaktivierung external zu initiieren sowie Empfehlungen für das meta-kognitiv richtige Vorgehen auszusprechen. Die Inhaltsleere von kognitiven Lernwerkzeugen muss ebenfalls kritisch hinterfragt werden. Inwiefern können mind tools überhaupt dieser Forderung nachkommen, ohne ihre Eigenschaft zu verlieren, kognitive Lernprozesse zu initiieren? Der instruktionale Mehrwert einer selbst gestaltbaren, inhaltsfreien Oberfläche ist naturgegeben begrenzt, da (1) nur eingeschränkt Aktivitäten mit ihr durchgeführt werden können (zu meist Notizen, Zeichnungen) und (2) keine Akzente auf bestimmte Lerninhalte bzw. Lernaktivitäten durch den Lehrenden gesetzt werden können. Unter diesem Gesichtspunkt kann festgehalten werden, dass sich in der Regel keine *reinen* mind tools finden lassen, da sämtliche Gestaltungen, die über eine blanke Fläche hinausgehen, bereits eine Verletzung der Definition darstellen. Stattdessen erscheinen Mischformen als sinnvolle Alternative, in denen die Funktionalität des Lernwerkzeuges bewusst eingeschränkt ist, dafür aber einem gezielten didaktischen Zweck erfüllt. Darüber hinaus geben Clark & Feldon (2005) empirisch gestützt zu bedenken, dass die Vorteile eines *reinen* Werkzeuges nur dann zum Tragen kommen, wenn der Lerner bestimmte Voraussetzungen erfüllt. Dazu gehört ein Grundmaß an Vorwissen und Intelligenz sowie effektive Lern- und Selbstüberwachungsstrategien. Das Würfelmodell von Jonassen dient somit eher als instruktionspsychologische Leitlinie, an der es sich zu orientieren gilt, möchte man - wie im vorliegendem Falle - konstruktivistisch geprägtes Lernen initiieren.

3.3 Wirksamkeit elektronischer Lernunterstützung

Die Wirksamkeit elektronischer Lernhilfen scheint seit langem im Grundsatz empirisch nachgewiesen. Mehrere Meta-Analysen attestieren einen positiven Effekt computergestützter Lernumgebungen (Blumschein, 2004; Kulik & Kulik, 1991; Liao, 1999), der zudem seit den 1980er Jahren stabil

(Fletcher-Flinn & Gravatt, 1995) sowie von Geschlecht, Alter, Form der Multimedia-Anwendung und selbst von der Art der Lernsituation (individuell vs. in einer Gruppe) unabhängig zu sein scheint (Vogel et al., 2006).

Es gibt aber auch gegenteilige Befunde. Für ihre eigene Meta-Analyse werteten Bernard et al. (2004 in Clark & Feldon, 2005) 232 Studien in einem Zeitraum von 1985 bis 2002 aus. Sie kamen zu dem Schluss, dass die Ergebnisse extrem heterogen sind: mal war der Lernerfolg durch klassisches, schulisch-geprägtes Lehren höher, mal durch den Einsatz multimedialer Lehrformen. Die gemittelte Effektgröße tendierte gegen Null. Clark (1983; 1985; 1994; 2001) führt dies vor allem auf methodische Artefakte wie die Vermengung von medialer und pädagogischer Methode, die systematische Übervorteilung eines Mediums (vgl. Rey, 2008) sowie falsche Kausalschlüsse (vgl. Schulmeister, 2007) zurück.

Als Lösung dieses methodischen Dilemmas empfehlen verschiedene Autoren, diverse Moderatorvariablen zu kontrollieren, da ohne sie die erzielte Lernwirkung nicht eindeutig auf das Medium attribulierbar ist (Blömeke, 2003; Elshout, 1992; 2000; Kuhlen, 1991). Dazu gehören u.a. das domänenspezifische Vorwissen, Kenntnisse im Umgang mit dem Medium, Lernstil, die didaktische Methode, die verfügbare Zeit, die Art der Instruktion sowie kognitive Fähigkeiten (vgl. Ainsworth, 2008; Schulmeister, 2007).

3.4 Instruktionale Faktoren elektronischer Lernunterstützung

Mind tools können das Lernen auf vielfältige Weise unterstützen. An erster Stelle steht die Ermöglichung und Initiierung lernförderlicher kognitiver Aktivitäten. Schon durch ihren Gebrauch sollen solche Tools den Lerner durch spezifische Aufgaben in bestimmte Lernanstrengungen verwickeln, ohne sie ausdrücklich einzufordern (Jonassen, 1992; Mayes, 1992). Auf diese Weise stellen Operationen an diesen Werkzeugen eine generative Aktivität im Sinne Wittrocks (1990) dar, die ohne das Tool von den betreffenden Personen nicht gezeigt würde (Jonassen, 1999). Sie bieten somit das Potential, der Forderung von Paas und Kollegen (2003) nachzukommen, den *germane cognitive load* durch instruktionale Interventionen zu erhöhen.

Hinzu kommt, dass an Lernwerkzeugen konkrete, physische Operationen durchgeführt werden müssen, die zudem einen hohen Neuigkeitswert besitzen können. Auf diese Weise greift der *enactment effect* (Cohen, 1989), dem zu Folge die Behaltensleistung über einen Sachverhalt größer ist, wenn mit ihm eine Handlung ausgeführt wird.

Darüber hinaus können Lernwerkzeuge aber auch helfen, den mental work load (Sweller, 1999) zu reduzieren. So kann ein mind tool bspw. als externer Speicher verwendet werden, in dem zur Entlastung des Arbeitsgedächtnisses Informationen vorübergehend abgelegt und bearbeitet werden können (Li, 2005; Scaife & Rogers, 1996). Damit erweitern sie die Kapazität der menschlichen Informationsverarbeitung (Kozma, 1987; 1992; Lajoie & Derry, 1993). Zur weiteren mentalen Entlastung

kommt es, wenn (gegenständliche) Sachverhalte in Form von Animationen grafisch dargestellt werden. Dadurch stehen repräsentationale Elemente permanent direkt zur Verfügung (vgl. Weidenmann, 1994). Dies gilt vor allem für örtliche Lagebeschreibungen (Larkin & Simon, 1987), Darstellungen von Prozessen (Kulpa, 1994) sowie schwer zu verbalisierende Phänomene (Stenning & Oberlander, 1995).

Ergänzend geben Lernwerkzeuge Hinweise, welche Aspekte eines Lernstoffes wichtig sind und welche vernachlässigbar. Damit entsprechen sie dem Konzept der Orientierungsaufgabe (Hyde & Jenkins, 1969; Lockhart, Craik & Jacoby, 1976; vgl. Locke & Latham, 1990), das besagt, dass eine konkrete Aufgabe zu besseren Behaltensleistungen führt als die bloße Aufforderung, zu lernen, da sie die Informationsverarbeitung auf bestimmte Ziele lenkt. Für Brünken et al. (2003a) ist dieser *attentional-guidance effect* das zentrale Bindeglied zwischen Instruktion und Lernerfolg: erst durch die intendierte Fokussierung des Lernenden auf die wesentlichen Wissensbestandteile erfüllen mind tools ihren didaktischen Zweck. Während explizite bzw. zusätzlich eingebettete Lernhinweise recht gut untersucht sind (de Jong, 2005), ist die implizite Lenkwirkung bislang nur wenig erforscht. Sime (2002; 1998; de Jong et al., 1998) beobachtete in ihren Experimenten einen solchen Steuerungseffekt. Im Rahmen ihrer Lernumgebung war er sogar intendiert. Mit Hilfe sechs verschiedener Simulationen ein und desselben Wärmetauschers sollten die Probanden die verschiedenen Aspekte einer solchen Anlage verstehen lernen, um anschließend die Folgen steuernder Eingriffe in das System richtig zu prädictieren. Sie begründet ihr Vorgehen damit, dass auf diesem Wege für jeden Lernzweck ein adäquates Tool bereit steht (vgl. Rohr & Reimann, 1998), das Erlernte flexibler angewendet werden kann (vgl. Spiro & Jehng, 1990) sowie durch geschicktes Sequenzieren der Toolnutzung (Sime, 1998) das Lernen befördert wird.

Damit Lernwerkzeuge ihre Wirkung entfalten können, müssen sie überhaupt angewendet werden. Dies ist alles andere als selbstverständlich. Zum Einen sollen diese Werkzeuge durch ihre Funktionalität den Lernenden von selbst dazu auffordern, sie zu nutzen (Jonassen, 1992), zum Anderen konnten Schulz (2003) und Kahl (2006) zeigen, dass explizite Instruktionen, die die Nutzungshäufigkeit eines Tools vorgeben, diese zwar erhöhen, nicht jedoch die Qualität der Anwendung und in der Folge auch nicht der Lernerfolg. Damit entsprechen diese Befunde der Annahme von Wittrock (1990), laut der sich (zusätzliche) lernförderliche generative Aktivitäten nur dann zeigen, wenn der Lerner sie nicht schon von allein realisiert. Hinter der Entscheidung, ein angebotenes Lernwerkzeug zu nutzen, steckt darüber hinaus auch eine interne Kosten-Nutzen-Abwägung. Lockwood (1992; vgl. Pollock, Chandler & Sweller, 2002; Scholl, Pelz, Rade & Broge, 1996; Sweller, 1999) weist darauf hin, dass der Gebrauch eines Werkzeuges auch immer kognitive und zeitliche Ressourcen zu seiner Bedienung bindet. Diese fallen besonders hoch aus, wenn das Tool neu und der Lerner noch ungeübt in seinem Gebrauch ist (Kritzenberger, 2005) - ein Umstand, der sich bei hybriden Lernwerkzeugen mit mehreren Funktionalitäten noch verschärft (Ainsworth, Bibby & Wood, 1998). Nur wenn ein Zusatznutzen

für den Lernerfolg erwartet wird, findet das Lernwerkzeug seine Anwendung.

Die bloße Anwendung ist zwar eine notwendige, jedoch nicht hinreichende Voraussetzung für erfolgreiches Lernen. Hinzu kommt als weiterer bedeutender Faktor die Güte der Werkzeugnutzung. Wipper (2004; vgl. Iiyoshi & Hannafin, 1998) konnte nachweisen, dass erst die Verwendung einer Lernsoftware im Sinne ihrer Zweckbestimmung eng mit dem resultierenden Lernerfolg assoziiert ist. Sie führt dies auf umfangreichere Prozesse der kognitiven Informationsverarbeitung zurück, die auf diese Weise angeregt werden. Steht ein hybrides Lernwerkzeug - bestehend aus mehreren Teil-Applikationen - zur Verfügung, kommt die ‚richtige‘ Reihenfolge der Werkzeugnutzung noch hinzu. Liu & Bera (2005; Liu, Horton, Corliss, Svinicki, Bogard, Kim et al., 2009) konnten einen Zusammenhang zwischen dem Zeitpunkt des Werkzeuggebrauchs im Gesamtlernprozess und dem Lernerfolg herstellen. Die Einzel-Tools gruppieren sie dazu in vier funktionale Gruppen, die jeweils eine der fünf von ihnen postulierten Stufen eines Problemlöseprozesses optimal unterstützen sollen. Die gewonnenen Daten zum Toolnutzungsverlauf bestätigten die Autoren in ihrer Annahme, dass die Werkzeuge zumeist gemäß ihrer Nutzungsintention von den Schülern gebraucht wurden. Darüber hinaus teilten sie die Lerner nach ihrem Lernerfolg in 3 Gruppen und stellten die Toolnutzungscharakteristik des besten Drittels der des schlechtesten gegenüber. Sie rechneten pro Lernphase eine Varianzanalyse (unabhängige Variable: Lernleistung). Dabei zeigte sich u.a., dass Schüler, die von dem idealen Gebrauchsprofil abwichen, signifikant geringere Lernleistungen aufwiesen. Auch in den anderen vier Datensätzen konnte ein - wenn auch nicht signifikanter - Trend in dieselbe Richtung festgestellt werden.

3.5 Individuelle Determinanten des Lernens mit elektronischen Medien

Das Gros der individuellen Voraussetzungen für erfolgreiches Lernen in multimedialen Settings leitet sich aus der traditionellen instruktionspsychologischen Forschung ab. Hier existiert eine Vielzahl von Variablen, die als bedeutend betrachtet werden (vgl. Baumert, Klieme, Neubrand, Prenzel, Schiefele, Schneider et al., 2000; Clark & Feldon, 2005; Weinert, Birbaumer & Graumann, 1996). Eine zentrale Rolle spielt an dieser Stelle das Wechselspiel von Intelligenz und Vorwissen (vgl. Asendorpf, 2007). In einer Längsschnittstudie von Weinert & Helmke (1995) wurden zunächst die erwartbaren positiven Zusammenhänge zwischen den beiden unabhängigen Variablen und der Schulleistung gefunden. Nach der statistischen Isolierung des Effekts der Intelligenz (Auspartialisierung) blieb der Einfluss des Vorwissens praktisch gleich; im umgekehrten Fall sank der Einfluss des IQ auf einen marginalen Wert. Dieser Effekt verstärkt sich noch mit zunehmender Aufgabenschwierigkeit (Weinert, 1988) und Übung in der Aufgabenbewältigung (Ackerman, 1989). Zahlreiche andere Studien kommen zu ähnlichen Aussagen, die Bedeutung der Intelligenz für verstehendes Lernen betreffend (Ceci, 1986; Ericsson & Lehmann, 1996; Helmke, 1992; Masunaga & Horn, 2001). Sie decken sich mit vergleichbaren Befunden im Bereich des komplexen Problemlösens (Wenke, Frensch & Funke,

2005). Dies bedeutet in der Konsequenz, dass der Kontrolle des Vorwissens in Lernexperimenten eine weit bedeutendere Rolle zukommt als der klassischen Intelligenzmessung.

Untersuchungen aus verschiedenen Domänen (bspw. zur Bildung mentaler Modelle bei Rinck, 2000, zur kognitiven Belastung bei van Merriënboer, Kirschner & Kester, 2003) und bei unterschiedlichen Populationen (Schoemann, 1995; Spiel & von-Eye, 1994) bestätigen die gewichtige Rolle des Vorwissensstandes. Interessanterweise kann sich dieser positive Effekt hoch ausgeprägter Kenntnisse sogar ins Negative umkehren, wenn Instruktionen mit bereits bestehenden mentalen Modellen oder Lernstrategien interferieren (Kalyuga, Ayres, Chandler & Sweller, 2003).

Zweiter gewichtiger Faktor ist die *Motivation* zu Lernen. Auch dieses Konstrukt wird in der Literatur zwiespältig betrachtet. Strittig ist bspw., ob sie eine direkt wirkende oder eine Moderatorvariable darstelle (Colquitt & Simmering, 1998; Schiefele, 1991; Weinert, 1996). Die Meta-Analyse von Schiefele & Schreyer (1994) festigt die Auffassung, dass es sich um einen isolierbaren Effekt handelt. Demnach ist ein hoher Zusammenhang bzgl. verstehenden Lernens besonders für die intrinsische Motivation gegeben, der zumal von Geschlecht, Alter und intellektueller Fähigkeit unabhängig ist. Die Meta-Analyse von Utman (1997) konnte zudem einen bedeutenden Vorteil für Lernende feststellen, die sich einem inhaltlichen Ziel verpflichtet fühlten, gegenüber solchen, die eine optimale Ausführung der Lernaufgabe anstrebten. All diese Befunde müssen allerdings mit Vorsicht in Bezug auf ihre Validität betrachtet werden. Spangler (1992) konnte in seiner Meta-Analyse zeigen, dass der Zusammenhang zwischen empirischen Maßen der Leistungsmotivation und tatsächlicher Leistung über Gebühr von Anreizen (Incentives) moderiert werden. Nach Ausparialisierung dieses Faktors erreichen die Korrelationen nur noch mäßige Werte um .13. Erschwerend kommt die leichte Verfälschbarkeit solcher Testwerte hinzu (Ziegler, Schmidt-Atzert, Buehner & Krumm, 2007). Die gemischte Befundlage legt den Schluss nahe, dass es sich bei der Erhebung von Motivation in Lernversuchen um einen erfolgsrelevanten Aspekt handelt, der zugleich äußerst sorgsam erhoben werden muss. Im Fazit sollten die Lernenden ein inhaltsbezogenes Ziel verfolgen, kaum oder keine extrinsischen Belohnungen erhalten sowie wenig Anreiz für sozial erwünschte Selbstaussage haben.

Über die bis hier genannten allgemeingültigen Voraussetzungen gibt es im Kontext von Lernen mit elektronischen Medien weitere, spezifische Determinanten, die einen Einfluss auf den erfolgreichen Wissenserwerb haben. Bernard et al. (2004, in Clark & Feldon, 2005) berichten in ihrer Meta-Analyse von einem negativen Zusammenhang zwischen methodischem Interesse und Lernerfolg in multimedialen Settings. Sie begründen diesen paradox erscheinenden Befund mit der Erwartung der Studenten, online-gestützte Lehre gehe mit einer Aufwandsersparnis einher (vgl. Salomon, 1984). Für Clark & Feldon (2005) führt der Weg aus dieser widersprüchlichen Lage über eine Differenzierung zwischen der Motivation, multimediale Lernformen zu nutzen und der Bereitschaft, sich neue Informationen anzueignen. In dieses Bild passt auch die kontroverse Rolle des Neuigkeitswertes multimedialer Lernumgebungen. Zwar führt innovativ gestaltete Software zu einem kurzfristigen Aktivitäts-

schub, dieser verblasst jedoch nach kurzer Zeit und kann sich im schlimmsten Fall sogar negativ auf das Lernergebnis auswirken (Weidenmann, 2002). Die Studie von Scholl et al. (1996) unterstützt diesen Eindruck, wenngleich sie nicht Lern- sondern Kommunikationsmedien zum Untersuchungsgegenstand hatte. In ihrer aufwändigen Befragung unter wissenschaftlichen Mitarbeitern stellte sich heraus, dass die betreffenden Personen vorrangig solche Medien zur Kommunikation nutzten, mit denen sie sich bereits am besten auskannten - die Varianzaufklärung in der Medienwahl durch das medienspezifische Vorwissen lag bei 34%. Es entsteht ein sich selbst erhaltender Kreislauf, da durch die Verwendung der immer gleichen Kommunikationswerkzeuge auch ein entsprechend tiefes Wissen über sie gesammelt wird.

Kim & Reeves (2007) fassen die oben genannten instruktionalen und individuellen Prämissen in ihrem integrierenden Modell zu einem *joint learning system* zusammen. Es postuliert die Abhängigkeit des erzielten Lernerfolges sowohl vom Expertisegrad des Lernalten, der Funktionalität des Tools als auch den realisierten Aktivitäten am Lernwerkzeug. In ihrem ganzheitlichen Ansatz manifestiert sich Wissenszuwachs über die Zeit interessanterweise in allen drei Domänen, d.h. neben einer zunehmenden Expertise auf Seiten des Lernenden nehmen meist auch die Funktionalitäten eines Tools zu und werden die an ihm ausgeführten Operationen immer elaborierter.

3.6 Fazit zum Lernen mit elektronischen Medien

Ausgangspunkt dieses Kapitels war die Frage, in welcher Form multimediale Hilfsmittel verstehendes Lernen fördern können. Es existieren derzeit verschiedene Modelle bzgl. ihrer Wirkweise (Ainsworth, 2006; Brünken et al., 2003a; Hede, 2002; Iiyoshi & Hannafin, 1998; Mayer, 2005b; van Merriënboer & Kester, 2005) als auch eine bedeutende Menge empirischer Studien zu ihrer Wirksamkeit (Bernard et al., 2004; Blumschein, 2004; Kulik & Kulik, 1991; Liao, 1999; Vogel et al., 2006).

Eine der vielversprechendsten Möglichkeiten zur Förderung der mentalen Modellbildung ergibt sich aus dem dreidimensionalen Würfelmodell zur Klassifikation von Eigenschaften der Systemgestaltung computergestützter kognitiver Lernwerkzeuge (Jonassen, 1992), demnach der aktive, generative und selbst zu kontrollierende Gebrauch des Tools durch den Nutzer zu tieferer Informationsverarbeitung führt, die ohne ein solches Hilfsmittel nicht von sich aus gezeigt würde. Zur konkreten Ausgestaltung eines computergestützten kognitiven Lernwerkzeuges liegen bereits umfangreiche Empfehlungen vor (Mayer, 2005d). Und doch ist dieses Feld weit weniger gut erforscht, als dass es an dieser Stelle den Anschein macht. So begründet sich die Kausalkette vom verstehenden Lernen (Edelmann, 1996; Norman et al., 1978) über bedeutungsgenerierende kognitive Aktivitäten (Wittrock, 1990; Paas et al., 2003) hin zu computergestützten kognitiven Lernwerkzeugen im Sinne Jonassens (1992) nur auf theoretischen Überlegungen. Zwar existieren empirische Hinweise auf Teilverknüpfungen, bspw. in Bezug auf generative Aktivitäten (Lee & Grabowski, 2009) oder die Förderung der mentalen Modellbildung (Liu & Bera, 2005) durch elektronische Lernhilfen, jedoch steht ein gesamthafter Nachweis dieses

Zusammenhangs bislang aus. Im Fazit ergibt sich somit die zentrale Frage:

Lässt sich empirisch nachweisen, dass computergestützte kognitive Lernwerkzeuge die mentale Modellbildung fördern, indem sie ihre Nutzer in tiefere Informationsverarbeitungsaktivitäten involvieren, die sie ohne jene Tools nicht zeigen würden?

STUDIE I

Wirkungsanalyse singulärer kognitiver Lernwerkzeuge

4 Fragestellungen & Untersuchungsansatz STUDIE I

4.1 Vorarbeiten

Mehrere Autoren am Psychologischen Institut der HU Berlin sind im Vorfeld der vorliegenden Arbeit der oben genannten Fragestellung nachgegangen (Baartz, 2001; Majewski, 2002; Schulz, 2003, zusammenfassend dargestellt in Wipper, 2004). Im Rahmen eines experimentellen Zugangs verwendeten sie ein Versuchssetting, welches es ihnen gestattete, verschiedene Tools, die alle den Gestaltungsprinzipien Jonassens (1992) entsprachen, bzgl. ihrer Wirkung auf die Tiefe der Informationsverarbeitung sowie die mentale Modellbildung kontrolliert zu testen.

Zu Beginn entschieden sich die Autoren sich für ein klassisches Lernexperiment (vgl. Ainsworth, 2008): Nach einer Einweisung in die Lernumgebung erfolgte die Informationsaufnahme und direkt im Anschluss die Erhebung des Wissenszuwachses. Desweiteren wurde die gesamte Lern- und Testdurchführung PC-gestützt realisiert. Sie bestand aus mehreren, aufeinander folgenden Computeranwendungen, was die Möglichkeit eröffnete, sämtliche Benutzereingaben, Systemmeldungen und die Zeit mittels eines log file-Protokolls zu dokumentieren und anschließend im Hinblick auf den Lernprozess und das Lernergebnis auszuwerten. Als zentraler Lerngegenstand wurde eine stilisierte Anlage zur Alkoholherstellung entworfen. Diese Entscheidung zu Gunsten eines einfachen technischen Systems ist für den Nachweis der Lernförderlichkeit computerbasierter kognitiver Lernwerkzeuge durchaus üblich (Bodemer & Faust, 2006; Sime, 1998; Woolf, Blegen, Jansen & Verloop, 1987; vgl. de Jong et al., 1998; Schulmeister, 2007), da sie sich in Aufbau und Funktionsweise zweifelsfrei determinieren lassen. Dadurch ist es möglich, hoch valide Testinstrumente zur Quantifizierung des Wissenszuwachses zu verwenden. Hinzu kommt, dass mit der Theorie von de Kleer & Brown (1983) und Kieras (1988; siehe Abschnitt 2.2) Vorannahmen über die Prozesse bei der Bildung eines mentalen Modells existieren. Auf Grund der Tatsache, dass es sich hier um drei sequentiell ablaufende Phasen handelt, eröffnet sich die Möglichkeit, gleich an mehreren Stellen fördernd zu intervenieren.

Für die erste Phase im Modell von de Kleer & Brown (1983) und Kieras (1988), in welcher aus einem Struktur- und einem Komponentenmodell die topologische Struktur der Anlage erlernt wird (*envisioning*), wurde ein *Beschriftungswerkzeug* getestet. Es bestand aus einer schematischen Abbildung der technischen Anlage sowie 33 editierbaren Blanko-Feldern, mit denen die Systemkomponenten und Bedienelemente der Anlage mit vorgegebenen Bezeichnungen versehen werden konnten. Für die Phase des *running*, in der ein mentales Kausalmodell erstellt werden soll, wurde ein *Operatorenwerkzeug* entworfen, in welchem mit Hilfe einer Tabelle die für die Systembedienung notwendigen Handlungsschritte zusammengestellt werden konnten. Durch Anklicken vorgegebener Begriffe (Objekte, Aktionen, Größen, numerische Werten und Einheiten) konnten die Probanden diese in selbst gewählte Spalten einfügen. In der letzten Phase des Modells, der Herleitung eines Handlungsplanes, diente ein *Simulationswerkzeug* als Hilfe. Es bestand aus einer schematischen Abbildung

des Systems, in der Werte eingestellt und Prozesse virtuell in Gang gesetzt werden konnten⁶.

Als weitere Komponente der Lernumgebung wurde den Probanden eine konkrete Aufgabenstellung mitgegeben, die besagte, dass sie am Ende des Lernprozesses in der Lage sein sollen, eine vorbestimmte Menge Alkohol simuliert herstellen zu können. Als Informationsbasis fungierte ein zehnzeitiger expositorischer Text. Dieser hatte die Besonderheit, dass in ihm nur der Aufbau und die Funktionsweise, nicht aber die Bedienung der Anlage, wie im Lernziel gefordert, beschrieben sind. Gleiches gilt für die korrekte Menge an zu verarbeitenden Rohstoffen. Um die Aufgabenstellung letztlich adäquat erfüllen zu können, musste sich aus der Beschreibung der Anlage ihre Bedienung sowie die Maßzahlen erschlossen werden.

Zur Testung des Lernergebnisses wurde ein Wissenstest verwendet, in dem durch 60 Items die gesamte Textbasis abgefragt wird. Die Aussagen lassen sich auf zwei Dimensionen zuordnen: zum Einen wurden verschiedenen Inhaltsklassen definiert, zum Anderen hatten die Items zwei unterschiedliche Schwierigkeitsniveaus, da sie entweder singuläre Informationen (Mikropropositionen) abfragten oder die Verknüpfung verschiedener Inhalte erforderten, die zudem entfernt voneinander in der Textbasis zu finden waren (Makropropositionen).

Als Ergänzung dazu entwickelten die Autoren u.a. mehrere Lokisationsaufgaben, in welchen einzelne Systemkomponenten in der abgebildeten Anlage identifiziert werden sollten. In weiteren Bedienaufgaben sollten an der gleichen Abbildung kleinere Handlungssequenzen realisiert werden. Den Abschluss der Lernzustandsmessung bildete eine Steuerungsaufgabe, in welcher das Lernziel (die Systembedienung) getestet wurde. Als Ergänzung füllten die Versuchspersonen einen Fragebogen zu selbstberichteten Tiefenstrategien beim Lernen aus.

Die experimentelle Variation bestand einzig aus der Bereitstellung eines der oben genannten Lernwerkzeuge bzw. aus ihrem Verzicht. Die Nutzung dieser Lernhilfen stand den Versuchsteilnehmern frei. Zusätzlich verfügten alle Probanden - auch die der Kontrollgruppe - über Papier & Bleistift (detailliertere Angaben zur Lern- & Testumgebung und zu weiteren Versuchsmaterialien finden sich zusammenfassend bei Wipper (2004) sowie in Abschnitt 5.6).

Im Rahmen dieses Versuchssetting kann nach Meinung der Autoren die Brücke zwischen der Aufgabenstellung (Systembedienung) und dem dafür im Grunde unzureichendem Ausgangsmaterial (expositorischer Text ohne Bedieninformationen) nur durch den Aufbau eines mentalen Modells geschlagen werden. Die Güte dieses Modells ist wiederum vom Ausmaß der kognitiven Anstrengung, also der Tiefe der Informationsverarbeitungsprozesse, abhängig (siehe Abschnitt 2.2.1). Kommt es durch die Toolnutzung zu eben diesen Denkleistungen und ergeben sich elaboriertere mentale Modelle, so kann die Forschungsfrage positiv beantwortet werden.

⁶ Im Rahmen der Forschungsreihe wurden auch weitere Werkzeuge, alternative Darstellungsformen sowie verschiedene Nutzungsbedingungen getestet (bspw. Bittroff, 2008; Lewandrowski, 2002; Römer, 2005; Schulz, 2004).

4.2 Ergebnisse der Vorarbeiten

Für die 4 unabhängigen Versuchsgruppen wurden insgesamt 82 studentische Probanden mit wenig Vorwissen bzgl. des Lerngegenstandes und mit hoher Lernerfahrung akquiriert. Es wurde ein einfaktorielles Between-Subjects-Design verwendet, in welchem die experimentelle Variation darin bestand, dass den Teilnehmern jeweils ein Lernwerkzeug zur Verfügung gestellt bzw. im Falle der Kontrollgruppe explizit weggelassen wurde.

In den Ergebnissen gelang es den Autoren, die Fragestellung in ihrem Sinne zu beantworten. Es zeigte sich, dass die Probanden der Experimentalgruppen signifikant mehr Items des Wissenstests richtig beantworteten, die den Aufbau von Makropropositionen erforderten, was für tiefere Informationsverarbeitungsprozesse spricht. Letzteres spiegelte sich auch in den Ergebnissen des Fragebogens zu selbstberichteten Tiefenstrategien beim Lernen nieder. Unterstützend dazu waren auch die Gesamtlernzeiten dieser Versuchspersonen gegenüber jenen der Kontrollgruppe im Schnitt 30% länger.

In Bezug auf die mentale Modellbildung ist die Ergebnislage ähnlich. Die Nutzer der Lernwerkzeuge zeichneten sich durch umfangreichere Kenntnisse im Wissenstest als auch eine fehlerärmere Systembedienung - gemessen Mittels der Lokalisations-, Bedien- und Steuerungsaufgaben - aus. Besonders letzteres ist der prägnanteste Indikator für die mentale Modellbildung, da sich die Probanden die zielgerichtete Bedienung der Anlage aus den gegebenen Informationen erschließen mussten.

Aus der Tatsache heraus, dass die Autoren mehrere Lernwerkzeuge zur Unterstützung der Wissensaneignung verwendeten, ergibt sich die weiterführende Frage, in wie weit diese in ihrer oben beschriebenen Funktionalität für das verstehende Lernen substituierbar sind. Es existieren Hinweise darauf, dass eine solche Ersetzbarkeit prinzipiell existiert (bspw. Barab et al., 1999; Volk & Ritchie, 1999; Zumbach, Reimann & Moayer, 2002). Auf der anderen Seite nutzten einige Autoren bewusst mehrere Tools, um verschiedenartige Informationsverarbeitungsaktivitäten anzuregen (bspw. Liu & Bera, 2005; Sime, 2002). Diese Strategie hat aber auch eine Kehrseite. Durch ihre Beschaffenheit und Verwendbarkeit können sie die Aufmerksamkeit des Nutzers implizit auf solche Wissensbestandteile lenken, die zu einer effektiven Nutzung des Tools notwendig sind. Eine solche fokussierende Wirkung kann aus ihrer Eigenschaft als Orientierungsaufgabe resultieren (Brünken et al., 2003a; siehe Abschnitt 3.4), der zufolge das Werkzeug als Hinweisgeber für die Selektion des Informationsangebotes entsprechend der suggerierten Wichtigkeit fungiert. In der Folge ist es möglich, dass sich der lernförderliche Effekt eines Mediums rasch erschöpft, ohne den globalen Wissenszuwachs in seinem vollen Potential zu unterstützen.

Die Frage nach ihrer gegenseitigen Ersetzbarkeit hat eine weitere entscheidende Bedeutung: Sollten die verschiedenen Tools letztlich die gleichen Wirkungen entfalten, entstünde durch das Bedienen mehrerer Werkzeuge, welche alle demselben Zweck dienen, eine unnötig hohe kognitive Belastung. *Extraneous* und *germane cognitive load* (Paas et al., 2003; Sweller, 1999; siehe Abschnitt 2.3) liegen letztlich enger beisammen als vielfach (implizit) angenommen.

Beim Entwurf der oben beschriebenen Lern- und Testumgebung wurden die kognitiven Lernwerkzeuge entlang eines sequentiellen Lernprozesses entworfen, wie ihn de Kleer & Brown (1983) und Kieras (1988) postulieren. Jedes der Tools soll nur eine der drei Phasen unterstützen. Von daher liegt die Vermutung nahe, dass sich hier eine fokussierende Wirkung der Lernwerkzeuge niederschlagen würde. Im Umkehrschluss bedeutet dies aber auch, dass ein jedes von ihnen einen spezifischen, d.h. nicht durch eines der anderen Werkzeuge zu ersetzenden, Beitrag zur mentalen Modellbildung leisten kann. Dadurch lässt sich die zentrale Fragestellung dieser Arbeit explizieren:

Lässt sich empirisch nachweisen, dass verschiedenartige computergestützte kognitive Lernwerkzeuge spezifisch die mentale Modellbildung fördern, indem sie ihre Nutzer in spezifische tiefere Informationsverarbeitungsaktivitäten involvieren, die sie ohne jene Tools nicht zeigen würden?

Auch diesbezüglich ergeben sich Antworten aus den Versuchen von Baartz (2001), Majewski (2002) und Schulz (2003; vgl. Wipper, 2004). In den Lernprozessdaten ließ sich bei genauerem Hinsehen bspw. ablesen, dass alle drei Werkzeuge zusätzlich zu anderen Lernaktivitäten (Lesen der Textseiten, Nutzung von Papier & Bleistift) genutzt wurden und diese nicht ersetzt. Vielmehr unterstützten sie diese, was sich in vermehrten Notizen bzw. Zeichnungen und teils längeren Lesezeiten niederschlug. Dies ist besonders in Bezug auf Papier & Bleistift bemerkenswert, da es grundsätzlich möglich war, die Unterstützungsfunktionen der digitalen Tools durch sie zu ersetzen und zugleich auf den kognitiven Mehraufwand zum Erlernen des Werkzeuges zu verzichten. In der zeitlichen Nutzungscharakteristik zeigte sich zudem, dass die Probanden die Werkzeuge zu unterschiedlichen Zeitpunkten in der Lernphase verwendeten. Bei den Lesezeiten der verschiedenen Textseiten differenzierte sich dieses Bild. Seiten, die sich auf die Beschreibung der Komponenten und die topologische Struktur beziehen, wurden von Probanden des Beschriftungswerkzeuges signifikant länger gelesen als Seiten, die die Herleitung, Berechnung und Einstellung von Sollwerten beschreiben. Die anderen beiden Experimentalgruppen unterschieden sich dagegen nicht von der Kontrollgruppe. Umgekehrt verhält es sich dagegen mit Berechnungen von Maßzahlen, wie sie vom Lernziel gefordert werden. Diese wurden von den Nutzern des Beschriftungswerkzeuges im Gegensatz zu den anderen Versuchsgruppen signifikant weniger durchgeführt.

Die detaillierten Ergebnisse in den Testvariablen stützen ebenfalls die Erwartung einer spezifischen Toolwirkung. So zeigen die Nutzer des Operatorenwerkzeuges u.a. bessere Leistungen als die des Beschriftungswerkzeuges in den operativen Fragen des Wissenstests, den Bedienaufgaben und der Steuerungsaufgabe. Die Probanden mit Simulationswerkzeug zeigten die gleichen Werte, hoben sich aber in den Bedienaufgaben nochmals von der Operatortoolgruppe ab.

In den Daten von Baartz (2001), Majewski (2002) und Schulz (2003; vgl. Wipper, 2004) treten auch zwei kritische Aspekte bzgl. des Versuchssettings hervor. So zeigt sich, dass die Anforderung an die Probanden, sich per Dreisatz die korrekten Maßzahlen aus den Beispielzahlen in der Textbasis zu erschließen, diese in der Mehrheit überforderte. Dies wirkte sich vor allem auf die Resultate der ab-

schließenden Steuerungsaufgabe aus, da das Gesamtergebnis dadurch merklich litt. Desweiteren kam es zu erheblichen Lerneffekten in den Testaufgaben. So zeigte sich besonders in der Experimentalgruppe des Operatorenwerkzeugs ein stetiger Anstieg der gemessenen Lernleistung über die Testphase hinweg. Dieser führte in Einzelfällen dazu, dass die ersten Aufgaben noch auf dem Niveau der Kontrollgruppe gelöst wurden, die letzte beinahe auf dem Niveau der Simulationstoolnutzer, welche werkzeubedingt hier die höchsten Werte erzielten. Sowohl die ungenügenden Berechnungen der Maßzahlen als auch die Lerneffekte in der Testphase konfundieren letztlich die Effekte der Toolbereitstellung und führen tendenziell zu ihrer Unterschätzung.

4.3 Forschungsfragen & Hypothesen

Im Zuge der STUDIE I soll eine Generalisierung der Kern-Ergebnisse aus den Studien von Baartz (2001), Majewski (2002) und Schulz (2003; vgl. Wipper, 2004) erfolgen. Ziel der wiederholten Prüfungen derselben Kausalhypothesen ist der Nachweis der Inhalts- und Stichprobenunabhängigkeit der Befunde. Die gelungene Übertragung von Effekten auf andere Domänen bzw. andere Populationen wäre ein bedeutender Schritt zur Formulierung einer allgemeinen Gesetzmäßigkeit (Bortz & Döring, 2006), da sich auf diese Weise effektverursachende Methodenartefakte - Besonderheiten der Stichprobe, der Testinstrumente oder in der zu erlernenden Inhalte - systematische ausschließen lassen (vgl. Fiske, 1987). Zu diesem Zweck sollen die oben erwähnten Daten anhand einer neuen Stichprobe und mit einem veränderten Lerngegenstand erneut erhoben und anschließend mit jenen der Vorgängerautoren verglichen werden. Die erste Forschungsfrage für die STUDIE I lautet dementsprechend:

F(1): Lässt sich generalisieren, dass verschiedenartige computergestützte kognitive Lernwerkzeuge ihre Nutzer spezifisch in tiefere Informationsverarbeitungsaktivitäten involvieren, die sie ohne jene Tools nicht zeigen würden?

Diese Fragestellung lässt sich durch Hypothesen⁷ in einzelne Facetten zerlegen. Sie kann sowohl auf der Basis von Prozessdaten, von Messgrößen des Lernerfolges als auch der subjektiven Wahrnehmung beantwortet werden. Wie bereits in der Herleitung erwähnt, steht bezüglich des Lernverlaufes zu erwarten, dass die computerbasierten Lernwerkzeuge ihre Nutzer zu kognitiven Aktivitäten anregen, die sie ohne diese Hilfen nicht zeigen würden (van Dijk, 1977; Wittrock, 1974). Dies sollte sich im Lernprozess dadurch widerspiegeln, dass die Dauer der Toolnutzung nicht zu Lasten alternativer generativer Lernprozesse geht:

H1_1⁸: Die Verwendung der computergestützten Lernwerkzeuge erfolgt zusätzlich zu anderen generativen Lernaktivitäten.

⁷ Die Hypothesen sind aus Gründen der Vergleichbarkeit mit denen der Vorgängerautoren in ihrer inhaltlichen Zielsetzung und ihrer Operationalisierung (bis auf die V8) identisch.

⁸ Die Nomenklatur richtet sich nach der Anzahl an Experimenten, Hypothesen und gegebenenfalls Teiloperationalisierungen. Die H1_2a ist z.B. die erste Operationalisierung (H1_2a) der zweiten Hypothese (H1_2a) in STUDIE I. (H1_2a).

Um die spezifischen Effekte der einzelnen digitalen Werkzeuge auf den Lernverlauf nicht nur in Abgrenzung zu anderen Hilfsmitteln sondern auch untereinander näher zu beleuchten, werden desweiteren die zeitlichen Nutzungscharakteristiken betrachtet. Jedes Tool soll einen Schritt in der Theorie der mentalen Modellbildung technischer Systeme (de Kleer & Brown, 1983; Kieras, 1988; siehe Abb. 4) unterstützen. Wenn die Autoren Recht behalten und die Stufen im Erlernen eines technischen Systems sequentiell auf einander folgen (siehe Abschnitt 2.2.2), müsste sich dies im Nutzungsverlauf der drei singulären Werkzeuge widerspiegeln:

H1_2: Die einzelnen computergestützten Lernwerkzeuge werden zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Lernprozess verwendet.

Über den Lernprozess hinaus wird bzgl. des Lernresultats erwartet, dass die zusätzlichen Aktivitäten die Probanden in tiefere kognitive Prozesse verwickeln (vgl. Grabowski, 2004). Dadurch kommt es vermehrt zu Argumentenüberlappung und -einbettung (van Dijk & Kintsch, 1983; Kintsch & van Dijk, 1978; Kintsch, 1998), wodurch im größeren Maße übergeordnete Sinneinheiten (Makropropositionen) entstehen sollten (siehe Abschnitt 2.2.1):

H1_3: Die Verwendung der computergestützten Lernwerkzeuge unterstützt die Bildung von Makropropositionen.

Neben diesen objektiven Daten eines veränderten Lernprozesses soll zusätzlich die Eigenwahrnehmung der Probanden herangezogen werden. Selbstberichtete Lernstrategien ergänzen als subjektives Maß tieferer Informationsverarbeitung die sichtbaren Verhaltensindikatoren aus den log file-Protokollen. Wenngleich diese Art der Erhebung stark diskutiert wird (vgl. Artelt, 2000; Wernke, 2009), konnten die Studien von Baartz (2001), Majewski (2002) und Schulz (2003; vgl. Wipper, 2004) auf diese Art zeigen, dass sich die Effekte der computerbasierten Werkzeuge auf den Wissenszuwachs u.a. mit tiefenorientiertem Lernverhalten erklären lassen:

H1_4: Die Verwendung der computergestützten Lernwerkzeuge führt zu mehr tiefenorientierten Lernstrategien.

Neben den Befunden zum Lernverlauf sollen auch die Folgen dieser Veränderungen auf den Wissenszuwachs repliziert werden. In den Daten der Vorgängerautoren zeigte sich, dass der Einsatz ihrer computergestützten Lernwerkzeuge die mentale Modellbildung positiv beeinflusste. Die zweite Forschungsfrage für die STUDIE I lautet dementsprechend:

F(2): Lässt sich generalisieren, dass solche verschiedenartigen computergestützten kognitiven Lernwerkzeuge spezifisch die mentale Modellbildung fördern?

Auch diese Frage lässt sich in einzelne Facetten aufgliedern. Wie eingangs bereits beschrieben, ließ sich in den bisherigen Studien nachweisen, dass die Situationsmodelle der Nutzer dieser Tools über das technische System weit elaborierter waren als jene der Kontrollgruppe:

HI_5: Die Verwendung der computergestützten Lernwerkzeuge führt zu elaborierteren mentalen Modellen über den Lerngegenstand.

Sollte es zu einer generell höheren Güte der mentalen Modelle durch die Lernwerkzeuge kommen, so ist dennoch davon auszugehen, dass die verschiedenen Tools nur spezifische Aspekte des Situationsmodells fördern, je nach dem, welche Inhalte durch ihre Nutzung fokussiert werden. Dieser selektive Effekt resultiert aus der Tatsache, dass solche Hilfsmittel durch ihren Gebrauch zugleich als Orientierungsaufgabe wirken (Brünken et al., 2003a; Hyde & Jenkins, 1969; Lockhart et al., 1976; siehe Abschnitt 3.4). In der Folge ist zu erwarten, dass ein jedes Lernwerkzeug spezifische inhaltliche Teilaspekte des mentalen Modells befördert:

HI_6: Die einzelnen computergestützten Lernwerkzeuge fördern spezifische inhaltliche Teilaspekte des mentalen Modells über den Lerngegenstand.

Das gleiche gilt auch für die Möglichkeit, das neu erlangte Wissen in Verhaltensvorgaben umsetzen zu können. Folgt man den Annahmen von de Kleer & Brown (1983) und Kieras (1988), müssen alle drei postulierten Teilschritte in der mentalen Modellbildung vollständig durchlaufen werden, bis am Ende ein viabler Handlungsplan resultiert. Da die digitalen Werkzeuge bei Baartz (2001), Majewski (2002) und Schulz (2003; vgl. Wipper, 2004) nur einen einzelnen der Lernschritte unterstützen sollten (siehe Abb. 4), ist im Zuge der Generalisierung erneut zu erwarten, dass die jeweiligen mentalen Modelle (welche aus der Nutzung der einzelnen Werkzeuge resultieren) verschieden ausgeprägte Handlungspläne zur Folge haben:

HI_7: Die einzelnen computergestützten Lernwerkzeuge fördern in unterschiedlichem Maße die Ausprägung eines viablen Handlungsplanes.

Im folgenden Kapitel werden die Methoden, mit welchen diese Hypothesen getestet werden sollen, vorgestellt. Neben einer Beschreibung der Probandenstichproben sowie des experimentellen Settings findet sich dort eine ausführliche Charakterisierung der Lern- und Testumgebung sowie ein Vergleich mit den Materialien der Vorgängerautoren.

5 Methodik der STUDIE I

5.1 Stichprobe

Als Probanden wurden $N = 109$ Personen mit vergleichbarem Bildungsniveau (mindestens die Hochschulreife) mit Deutsch als Muttersprache akquiriert, davon 60 Frauen (55%) und 49 Männer (45%). Das Durchschnittsalter der Versuchsteilnehmer betrug 25,7 Jahre ($SD = 6,34$). Sie erhielten als Entlohnung entweder einen Nachweis ihrer Versuchsteilnahme oder eine angemessene finanzielle Aufwandsentschädigung. Die Teilnehmer wurden quasizufällig anhand anfallender Stichproben auf die Versuchsgruppen aufgeteilt. Während die Kontrollgruppe ($N = 24$) nur Papier und Bleistift als Hilfsmittel in der Lernphase nutzen kann, steht den Probanden der Experimentalgruppe Beschriftungstool EG_{BS} ($N = 23$) zusätzlich das entsprechende computergestützte kognitive Lernwerkzeug zur Verfügung (siehe Abschnitt 5.4). Gleich verhält es sich mit der Experimentalgruppe Operatortool EG_{OP} ($N = 33$) sowie der Experimentalgruppe Simulationstool EG_{SIM} ($N = 29$). Im Anschluss an die Datenauswertung erfolgte eine weitere Reduktion der Stichprobengröße anhand der Werkzeugnutzungsdaten (siehe Abschnitt 6.1)

5.2 Ablauf und experimentelle Variation

In der vorliegenden Studie wird ein einfaktorielles Between-Subject-Design verwendet. Die experimentelle Variation besteht in Anlehnung an Baartz (2001), Majewski (2002) und Schulz (2003; vgl. Wipper, 2004) in der Bereitstellung eines der drei Lernwerkzeuge bzw. in deren Verzicht. Den Teilnehmern der Experimentalgruppen ist es zudem freigestellt, das ihnen angebotene Lernwerkzeug zu gebrauchen. Sie müssen dies nicht tun, um den Versuch erfolgreich zu beenden. Dadurch ergibt sich innerhalb der vom Autor angelegten experimentellen Variation eine zweite, quasi-experimentelle Unterscheidung, bedingt durch das Nutzungsverhalten der Versuchspersonen (siehe Abschnitt 6.1).

Die Probanden bearbeiten das gesamte Experiment im Einzelversuch an einem Computer im Versuchslabor. Die Untersuchung dauert je nach Umfang der Toolnutzung in der Lernphase zwischen 1½ und 2½ Stunden. Während der gesamten Zeit ist ein Versuchsleiter im Raum anwesend und steht für eventuelle Rückfragen zur Verfügung. Alle Untersuchungswerkzeuge werden zu Beginn ihres Einsatzes akustisch-visuell voll-standardisiert erläutert. Zum Einsatz kommen sieben Applikationen, deren Abfolge sich in vier Phasen einteilen lässt (siehe Tab. 1).

Tab. 1: Phasen der Untersuchung und eingesetzte Untersuchungswerkzeuge.

<i>Untersuchungsphase</i>		<i>Untersuchungswerkzeug</i>
Phase 1	Vorbereitung	Fragebogen zur Person Instruktion zum Lernprogramm Fragebogen zur aktuellen Motivationslage
Phase 2	Lernen	Lernen mit Hilfe eines Lernprogramms
Phase 3	Messung der Lernleistung	Wissens-Test Lokalisationsaufgaben Steuerungsaufgabe Fragebogen zu selbstberichteten Tiefenstrategien beim Lernen

5.3 Lern- & Testumgebung

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wird in der vorliegenden Arbeit eine ähnlich gestaltete PC-gestützte, teilautomatisierte Lern- und Testumgebung wie jene von Baartz (2001), Majewski (2002) und Schulz (2003; vgl. Wipper, 2004) verwendet⁹. Sie besteht aus einer Folge von eigens entwickelten Computeranwendungen, welche mit Delphi[®] 2006 programmiert wurden und deren gesamter Verlauf in Log-Files auf Windows[®] Access[®] -Basis festgehalten wird. Protokolliert werden alle Benutzereingaben, Systemmeldungen und die Zeit.

Als Lerngegenstand wurde ein einfaches, simuliertes technisches System zur Seifenherstellung, genannt *Seifenlaugenmaschine* entworfen. Diese Anlage orientiert sich an der industriellen Fettsäureverseifung¹⁰. Die Versuchspersonen sollen lernen, drei Rohstoffe virtuell so aufzubereiten, dass am Ende Seife hergestellt wird. Diese Domäne wurde besonders in Hinblick auf die Probandenpopulation (siehe Abschnitt 5.1) gewählt. Da dem Vorwissen eine enorme Bedeutung zukommt (vgl. Ainsworth, 2008; siehe Abschnitt 2.3) und keine Erhebung des bestehenden Wissensstandes erfolgt, wird viel Wert darauf gelegt, auch in der vorliegenden Studie einen gänzlich fachfremden Lerngegenstand zum Thema zu machen. Dadurch sollen Hinweise auf die zu bewältigende Aufgabe vermieden und zugleich das Vorwissen als erfolgskritische Variable kontrolliert, d.h. über alle Probanden konstant gehalten werden (Westermann, 2000).

Zum Einsatz kommen drei Lernwerkzeuge, die sich am Modell der mentalen Modellbildung über technische Systeme (de Kleer & Brown, 1983; Kieras, 1988; siehe Abb. 4) orientieren. Zu den Werkzeugen, welche an den neuen Lerngegenstand angepasst wurden, zählen wieder ein Tool zur *Beschriftung* von Systemkomponenten, ein *Operatorenwerkzeug*, mit welchem man die Bedienschritte für einen konkreten Arbeitsauftrag abbilden kann, sowie eine *Simulation*, in der Versuchspersonen die Anlage direkt steuern konnten (eine detailliertere Gegenüberstellung der beiden Lern- & Testumgebungen erfolgt in Abschnitt 4.6).

⁹ Alle Rechte an der Lern- und Testumgebung liegen beim Programmierer Hr. Dipl.-Ing. Joachim Warning.

¹⁰ Beispielhaft veranschaulicht unter <http://www.seifen.at/Industrie.htm>.

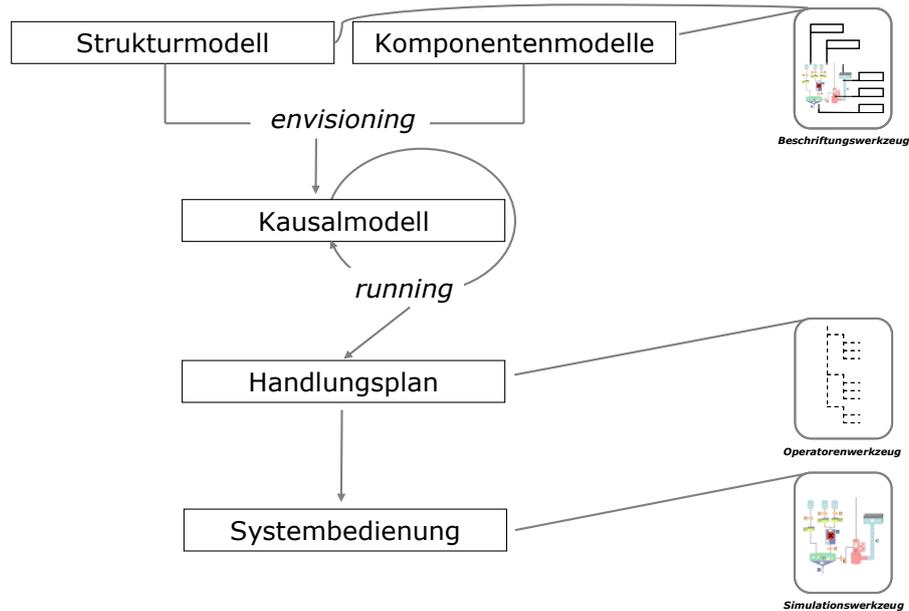


Abb. 4: Schematische Darstellung der mentalen Modellbildung über technische Systeme (nach de Kleer & Brown, 1983 und Kieras, 1988, aus Wipper, 2004, S. 12), ergänzt um die eingesetzten Lernwerkzeuge.

5.4 Lernmaterialien

5.4.1 Lernumgebung

Die Lernumgebung besteht in seiner Grundversion (ohne kognitives Werkzeug) aus vier Teilen:

(1) Zur Orientierung beim Lernen wird den Testteilnehmern ein *Lernziel* formuliert, das bereits die Anforderungen in der Testphase beinhaltet - die Bedienung des Systems (siehe Abb. 5). Die Lernanstrengung soll so auf ein für alle Teilnehmer gleiches Kriterium ausgerichtet werden, um diesbezügliche Leistungsunterschiede zu vermeiden.

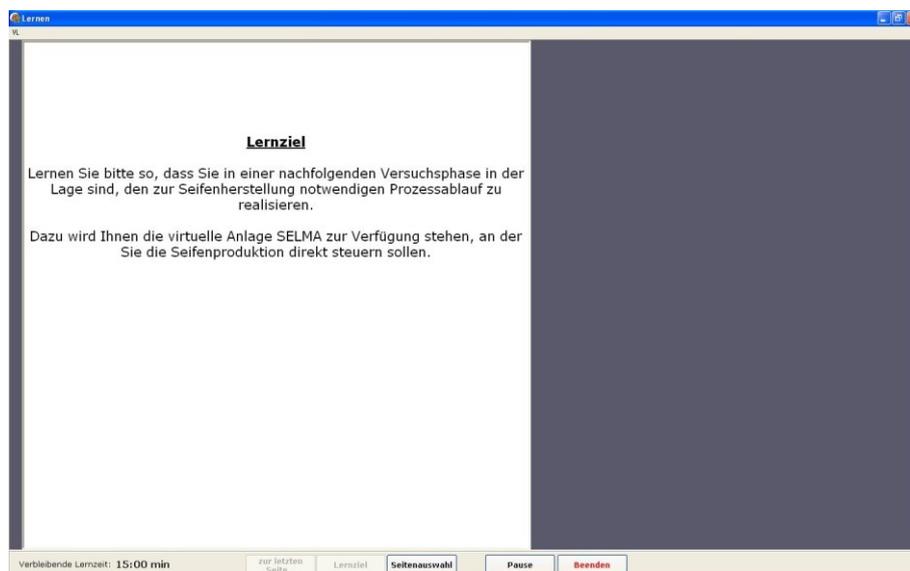


Abb. 5: Screenshot des Lernziels.

(2) Im Menüpunkt *Seitenauswahl* gelangen die Probanden in die Textbasis des Lernprogramms. Hier können sie sich ähnlich einem Inhaltsverzeichnis anhand von überschriebenen Buttons einen Überblick über die zufällig angeordneten Textseiten verschaffen (siehe Abb. 6).

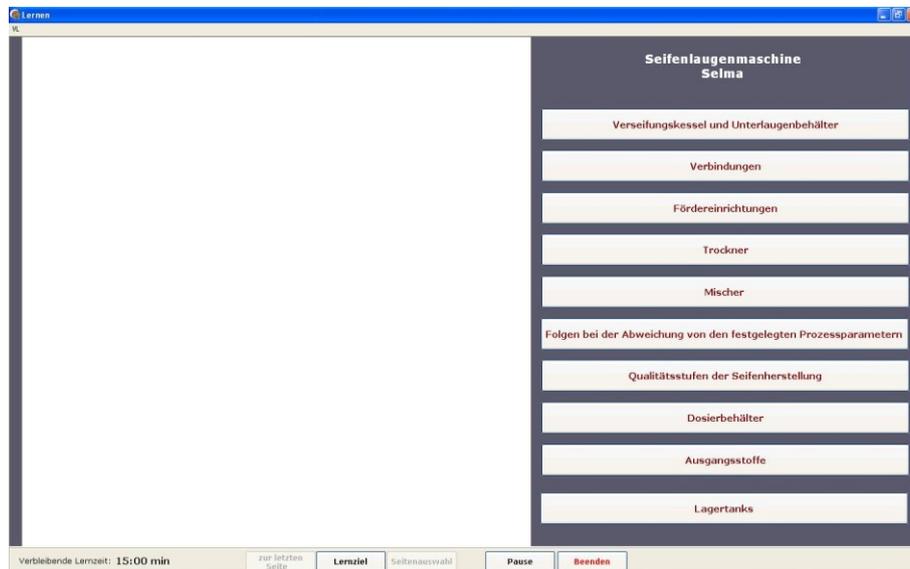


Abb. 6: Screenshot der Seitenauswahl.

(3) Die Informationsbasis des Lernprogramms besteht aus 10 *Textseiten* mit insgesamt 1199 Wörtern. In ihnen wurde erläutert, wie die Rohstoffaufbereitung prinzipiell funktioniert, aus welchen Bauelementen die Anlage besteht, welche Merkmale und Funktionen diese aufweisen, wie sie miteinander verbunden sind, welche Stoffe sie enthalten bzw. transportieren oder transformieren können, welche vorgegebenen Sollwerte während der Produktion eingehalten werden müssen und welche Folgen diesbezügliche Abweichungen haben (siehe Beispiel-Abb. 7). Die Texte sind expositorisch und nicht durch Hyperlinks miteinander verknüpft, d.h. sie beschreiben unabhängig von den jeweils anderen Seiten nur einen einzelnen Sachverhalt. Die korrekte Bedienung der Anlage ist in der Informationsbasis nicht enthalten. Die Inhalte aller Textseiten sind im Anhang aufgelistet. Der durchschnittliche Lesbarkeitswert (Flesh Reading Ease)¹¹ beträgt $M = 24$ ($SD = 10,1$), was die Texte als anspruchsvoll formuliert ausweist.

¹¹ Weitere Informationen und die Möglichkeit zum Berechnen des FRE-Werts unter <http://www.leichtlesbar.ch/html/fleschformel.html>.

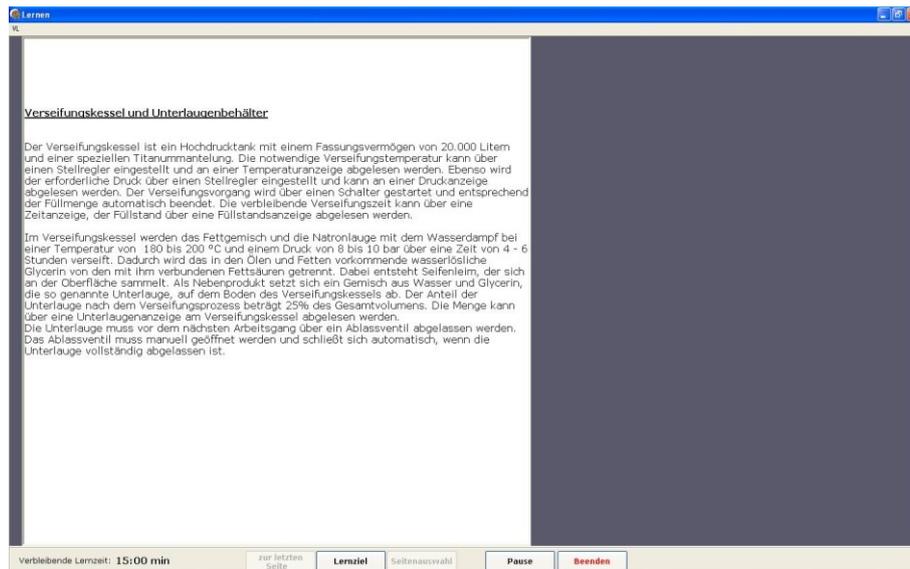


Abb. 7: Screenshot der Seite 1 aus der Informationsbasis.

(4) Über einen Button gelangen die Teilnehmer der Experimentalgruppen zu ihren Lernwerkzeugen (siehe Abschnitte 5.4.2 – 5.4.4). Sie können während des Lernens jederzeit aufgerufen und wieder verlassen werden, wobei der jeweils letzte Zustand erhalten bleibt und beim nächsten Aufruf wieder zur Verfügung steht. Zusätzlich können alle bereits getätigte Einträge und Veränderungen per Mausklick zurückgesetzt werden. Keines der Lernwerkzeuge enthält eine qualitative Feedbackfunktion, so dass die Probanden keine Rückmeldung darüber enthielten, ob die von ihnen durchgeführten Aktivitäten korrekt sind oder nicht.

Die Navigation durch die Lernumgebung erfolgt per Mausklick auf Schaltflächen in einer am unteren Bildschirmrand angelegten Symbolleiste. Die Schaltflächen *Pause* und *Beenden* dienen der Unterbrechung bzw. dem Abbruch der Lernphase. Um die Stichprobe zu homogenisieren steht allen Versuchspersonen für das Lesen der Textseiten 15 Minuten zur Verfügung. Für alle anderen Lernaktivitäten wird keine Zeitbegrenzung festgelegt. Allen Versuchsgruppen steht darüber hinaus Papier und Bleistift zur Verfügung, mit deren Hilfe Aufzeichnungen zeitunabhängig angefertigt werden können. Diese dürfen in der späteren Testphase jedoch nicht mehr verwendet werden.

Die Einführung in die Lernumgebung erfolgt vollautomatisiert. Darin werden die Probanden mit dem Aufbau des Programms vertraut gemacht und sie haben die Möglichkeit, sich in der Navigation zu üben. Für die Probanden der Experimentalgruppen wird an der Stelle des Lernwerkzeuges jeweils ein vergleichbar konstruierter Platzhalter eingefügt, um unerwünschte Lerneffekte durch die Instruktion zu vermeiden.

5.4.2 Beschriftungswerkzeug

Zur Unterstützung des *envisioning* im Modell von de Kleer & Brown (1983) und Kieras (1988) wurde ein Beschriftungswerkzeug entworfen, das helfen soll, die topologische Struktur des Systems zu ergründen. Dieses Wissen um Komponenten, ihre Verbindungen untereinander und ihre Bedienung dient als Grundlage für ein internes Kausalmodell. In diesem erklären sich dann die Wirkzusammenhänge innerhalb der Anlage.

Das Beschriften von Abbildungen gilt als klassisches didaktisches Instrument, bspw. in Schulbüchern für den Biologieunterricht (AAAS, 2005) oder als Computerprogramm zur Veranschaulichung der menschlichen Anatomie im Rahmen des Medizinstudiums (Schütze, Kroll, Lipinski & Filler, 2004). Studien zu elektronischen Lernwerkzeugen mit Labeling-Funktion finden sich in der Literatur kaum und wenn, dann fungieren solche Anwendungen als Mittel zur Lernkontrolle wie jüngst bei Stiller, Freitag, Zinnbauer & Freitag (2009). Eine der seltenen Ausnahmen bildet eine Arbeit von Bodemer & Faust (2006). In ihr sollte das Funktionsprinzip einer Wärmepumpe erlernt werden. Die Autoren verglichen drei Varianten eines Beschriftungswerkzeuges: (1) eine vollständig beschriftete schematische Abbildung des Systems sowie (2) die eigenhändige Zuordnung von Indizes bzw. (3) Stichwörtern in editierbare Textfelder, welche in die Graphik eingebettet waren. Entgegen ihrer Hypothesen fanden sie keinerlei positiven Effekt ihrer Werkzeuge auf die Ergebnisse eines Wissenstests.

Bei Liu, Chen & Reid (2000, in Wipper, 2004) dagegen zeigten sich Probanden der Experimentalgruppe, denen ein Beschriftungstool zur Verfügung gestellt wurde, jenen aus der Kontrollgruppe in Behaltens- & Verstehenstests überlegen. Liu, Marathe & Hmelo-Silver (2006) verglichen ein *labeling tool* mit einem minimalistischen *hypertext*. Sie verstanden diese beiden Tools als Umsetzung differierender Lehr-Strategien: Das Beschriften von Bildern entspricht ihrer Meinung nach einem strukturzentriertem Ansatz, der Hypertext dagegen ist Ausdruck eines funktionsorientierten Vorgehens. Auf Grund des besseren Lernerfolges geben sie letzterem den Vorzug. Seufert & Brünken (2004) empfehlen dagegen multimediale Bildbeschriftungen ausdrücklich als Mittel zur Förderung des aktiven Bildverstehens.

In der vorliegenden Studie wurde ebenfalls ein klassisches Beschriftungswerkzeug entworfen (siehe Abb. 8). Es besteht aus einer schematischen Abbildung der technischen Anlage sowie 53 editierbaren Blanko-Feldern, mit denen die Systemkomponenten und Bedienelemente der Anlage mit vorgegeben Bezeichnungen versehen können. Dazu ziehen die Versuchspersonen den gewünschten Begriff per *drag & drop* aus einer Leiste am rechten Bildschirmrand in das selbst gewählte Beschriftungsfeld. Die Anzahl der zur Verfügung stehenden Bezeichnungen in der Auswahlliste bleibt davon unberührt. Mehrfachverwendungen sind somit möglich und erwünscht. Zudem können auch mehrere Begriffe in einem Feld abgelegt werden. Möchten sie ihre Entscheidung rückgängig machen, ziehen

sie das Wort in einen virtuellen Papierkorb oder klicken auf einen Reset-Button, der den Ausgangszustand wieder herstellt. Jedes Beschriftungsfeld ist nur einem Bauelement zugeordnet.

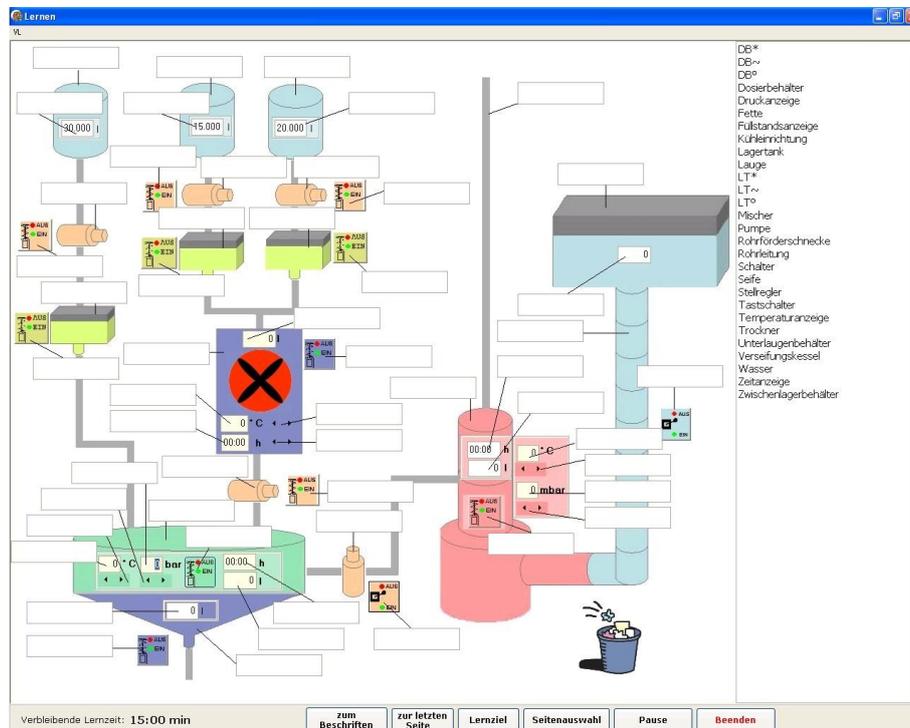


Abb. 8: Screenshot des Beschriftungswerkzeuges.

5.4.3 Operatorenwerkzeug

Nach dem Modell von de Kleer & Brown (1983) und Kieras (1988) folgt dem Erstellen eines internen Kausalmodells im nächsten Schritt der Entwurf eines Handlungsplanes zur Systembedienung. Laut Payne et al. (1990) lässt sich dies als Mappingprozess zwischen einem Problemzustand und möglichen Systemzuständen betrachten. Ziel ist es, zweckgerichtet die richtigen Bedienschritte zur richtigen Zeit vollziehen zu können, um eine gegebene Aufgabe zu lösen. Im Grundansatz entspricht dies den Anforderungen *wohldefinierter Probleme* (Dörner, 1976; Newell & Simon, 1972): (1) ein transparenter Anfangszustand, (2) ein festgelegter Zielzustand und (3) eine endliche Anzahl von bekannten Operatoren. Der entscheidende Denkprozess beim Problemlösen liegt in der Reduktion, also dem Zerlegen der Aufgabe in separate, leicht zu lösende Teilprobleme (Minsky, 1986). Somit entstehen für jede Teilaufgabe entsprechende Teilziele, die mit dem bekannten Reservoir an Operatoren erreicht werden können. Aebli (1980/1981) übertrug diesen Ansatz auf die allgemeine Handlungssteuerung. In seinem *H(n)-Schema der Handlungsplanung* werden komplexe Handlungen grundsätzlich kognitiv in hierarchisch und sequenziell geordnete Teilhandlungen zerlegt, um ein übergeordnetes Gesamtziel zu erreichen; ein Vorgehen, das sich bspw. auch in der Hierarchischen Aufgabenanalyse (Stanton, 2005) wieder findet. Als geeignete Darstellungsformen empfehlen Hone & Stanton (2004):

(1) Diagramme, bestehend aus Elementen und ihren Verbindungen, wie sie auch die meisten Programme zur Prozessabbildung verwenden. Computerprogramme, die eine Visualisierung solcher Zerlegungen erlauben, sind als (*process*) *flow chart*-Anwendungen weit verbreitet. Sie existieren als singuläre Tools (SmartDraw™), internet-basiert (<http://www.drawanywhere.com>) oder integriert in anderweitig ausgerichtete Programme (MS PowerPoint™). Allen gemein ist die Möglichkeit, durch das Platzieren und Verbinden von standardisierten grafischen Elementen einen Prozess in seinen Teilschritten darzustellen (vgl. Stanton, 2005). Zumbach et al. (2002) verwendeten eine *flow chart*-Software, um studentische Versuchspersonen die Prozessschritte bei einer radiologischen Untersuchung lernen zu lassen. Die Ergebnisse bezeugen die förderliche Wirkung der Konstruktion einer Prozessabbildung aus einer Textbasis heraus auf das deklarative Wissen. Zudem zeigte sich ein stabiler Lerneffekt in einer Transferaufgabe. Interessanterweise ergaben sich jedoch keine Unterschiede zwischen der Konstruktion und der bloßen Rezeption einer vorgefertigten Prozessabbildung - operationalisiert durch zwei unabhängige Stichproben - in den abhängigen Variablen.

(2) Hierarchische Listen, die einer Baumdarstellung ähnlich sind (*ordered tree technique*, Reitman & Rueter, 1980), wie sie bspw. auch in der Systemnavigation *Explorer* in MS Windows™ wiederzufinden sind. In dieser Visualisierungsform werden Informationen zu Blöcken gleichartiger bzw. zusammenhängender Informationen integriert und als Teilmenge eines übergeordneten Konzeptes dargestellt (Jonassen et al., 1993b). In der Literatur finden sich ausschließlich Berichte von Messungen der Struktur erlernten Wissens mittels *ordered trees* (siehe Abschnitt. 2.4), empirische Befunde bzgl. ihrer Lernförderlichkeit sind nach Kenntnis des Autors bislang nicht dokumentiert.

(3) Einfache Tabellen. Schulz (2003; vgl. Wipper, 2004) verwendete diese Form der Visualisierung am Computer, um Prozessschritte für die Bedienung einer technischen Anlage darzustellen. Die Ergebnisse zeugen von einer sehr geringen Akzeptanz bei gleichzeitig hoher lernförderlicher Wirkung. Er konnte zeigen, dass sich Toolnutzer signifikant von Nicht-Nutzern sowohl im deklarativen als auch prozeduralen Wissen unterscheiden. Zudem hatte das Tabellenwerkzeug keinen negativen Einfluss auf andere, analoge Lerntechniken. Die Probanden bewerteten es auch als äußerst hilfreich. Trotzdem verwendete nur knapp die Hälfte der Versuchspersonen das ihnen angebotene Werkzeug; jene, die es nutzten, taten es mehrheitlich mangelhaft. Als Gründe für diesen ernüchternden Effekt nennt der Autor eine in Log-Files erkennbare mangelhafte Bedienbarkeit und spekuliert über eine negative Kosten-Nutzenrechnung aus intellektuellem Aufwand zu wahrgenommenen Nutzen unter den Versuchspersonen (vgl. Lockwood, 1992).

In der vorliegenden Studie wurde (im Gegensatz zu Schulz, 2003) auf eine hierarchische Baumdarstellung zurückgegriffen. Wegen der vielfachen Verbreitung dieser Darstellungsform in gängigen PC-Anwendungen sollte der Wiedererkennungsgrad hoch und die Bedienung bekannt sein, was der Akzeptanz des Tools zuträglich sein kann. Zudem eignen sie sich auf Grund der simplen Darstellungs- & Organisationsform gut für Vergleiche zwischen einem individuell erstellten und einem Idealbaum.

Das hier zur Anwendung kommende Tool besteht aus einer editierbaren hierarchischen Liste, deren mögliche Elemente in einer Zusammenstellung am rechten Bildschirmrand angezeigt werden (siehe Abb. 9). Diese Liste besteht aus 28 korrekten Prozessschritten sowie 12 Distraktoren (falsche Operatoren), die in zufälliger Reihenfolge angeordnet sind. Wieder per *drag & drop* kann die Versuchsperson einzelne Prozessschritte in einer Wurzel ablegen, wodurch diese als Teilmenge der Wurzel dargestellt werden. Die Anzahl an Elementen und hierarchischen Ebenen ist den Probanden freigestellt. Zudem kann die Position des Eintrages beliebig über zwei Pfeiltasten nach oben und unten verschoben werden. Möchten Probanden ihre Entscheidung rückgängig machen, ziehen sie das Wort den Operator zurück in die Auswahlliste oder klicken auf einen Reset-Button, der den Ausgangszustand wieder herstellt. Bereits verwendete Prozessschritte wurden aus der Liste ausgeblendet.

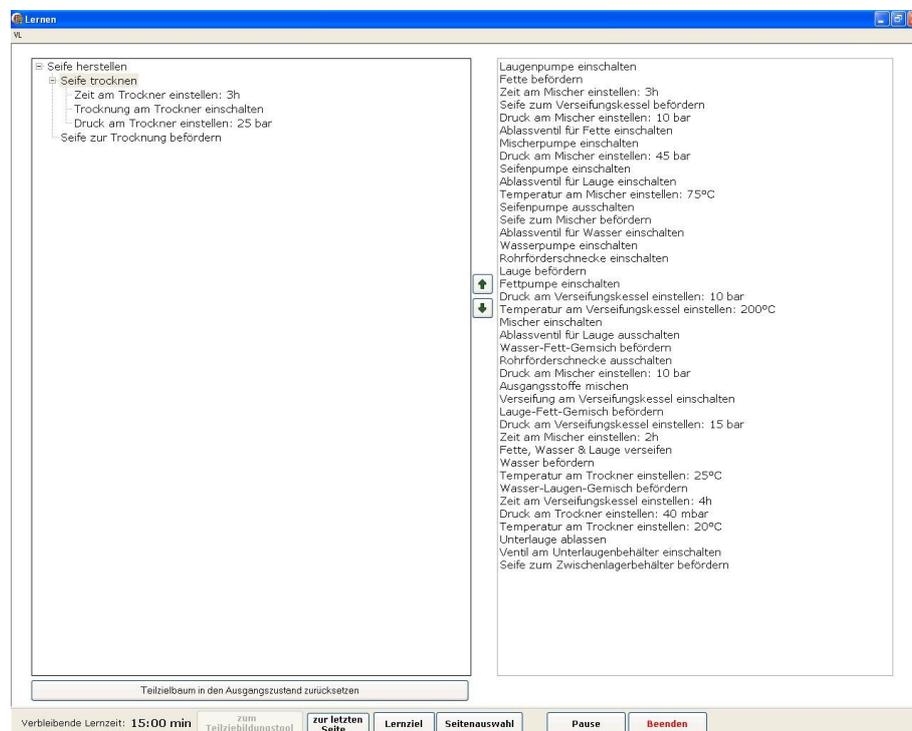


Abb. 9: Screenshot des Operatorenwerkzeuges.

5.4.4 Simulationswerkzeug

Im letzten Schritt des Modells der mentalen Modellbildung (de Kleer & Brown, 1983; Kieras, 1988) kommt es zur Systembedienung. Das Verständnis der Anlage sowie der dazu passende Handlungsplan können hier auf ihre Konsistenz und Viabilität geprüft werden. Ergeben sich erwartungsinconsistente Systemzustände, kann dies gleichzeitig der Beginn einer Feedbackschleife sein, die den Lerner auf die früheren Phasen im Modell zurückwirft. Zur Unterstützung dieses Denkprozesses kann auf eine klassische Simulation zurückgegriffen werden. Galvão, Martins & Gomes (2000) definieren Simulationen in Anlehnung an Saunders (1988) sehr treffend als „*working representation of reality*“

and [...] an abstracted, simplified or accelerated model of process.” (S. 1). Mit ihr lässt sich Aufbau und Funktionsweise des Lerngegenstandes veranschaulichen und stellvertretend ausprobieren (Pfleger, 2003). Auf diese Weise können Lerner durch Interaktion mit dem virtuellen System selbiges explorieren, in ihm Wirkzusammenhänge ergründen und Hypothesen überprüfen (Kritzenberger, 2005). Da es sich hier im Grunde um ein manipulierbares Abbild handelt, wirken zudem noch der enactment effect (Cohen, 1989; Mayes, 1994) und der Bildüberlegenheitseffekt (Kritzenberger, 2005; vgl. Paivio, 1986) lernfördernd.

Simulationen finden sich im Kontext multimedialen Lernens zu Hauf (für eine Übersicht siehe Schulmeister, 2007). Neben ihrem Einsatz in klassisch technik-lastigen Domänen wie Flugzeug- & Bahnführung, Schifffahrt, Kernkraft oder Schwerlastverkehr werden sie inzwischen auch in entfernteren Bereichen wie Anästhesiologie und Chirurgie angewandt (Dieckmann & Wehner, 2002). Ein Grund dafür ist, dass sich mit Simulatoren Lernleistungen durch Fehlerhäufigkeit, Folgerichtigkeit der Aufgabenausführung, Reaktionszeit, Regelfehler oder ähnliches recht einfach und präzise operationalisieren lassen (Kannheiser, 2006).

Interessanterweise wiederholt sich in dieser Domäne die Diskussion um die Lernförderlichkeit (vgl. Salas, Bowers & Rhodenizer, 1998; Salas & Cannon-Bowers, 2001), wie sie für das gesamte Forschungsfeld multimedialen Lernens in Abschnitt 3.3 bereits umrissen wurde. Trotz allem gilt die positive Wirkung von Simulationen als mind tool auf Lernerfolg seit langem als nachgewiesen. Zu letzt fassten Vogel et al. (2006) die Ergebnisse aus 32 Studien in ihrer Meta-Analyse zusammen. Darin zeigten sich sehr stabile Effekte für den Lernerfolg über Geschlechter- und Altersgrenzen hinweg. Zugleich wies das Autorenteam die Abhängigkeit dieser Ergebnisse vom Grad der Aktivität auf Seiten des Lerners nach. Die Sozialform (Individuallernen vs. Gruppenlernen) und das Abstraktionslevel der bildlichen Darstellung spielten dagegen keine Rolle. Als Erklärungsansatz für die Überlegenheit von Simulationen gegenüber anderen Lernmedien wird vor allem die hohe ökologischen Validität (Hays & Singer, 1989) angeführt, die einerseits zu einer dem Lernen sehr zuträglichen emotionalen Verwicklung des Teilnehmers führt und andererseits einen schnellen Transfer auf reale Situationen wahrscheinlich macht (Dieckmann & Wehner, 2002).

Für die vorliegende Studienreihe wurde ebenfalls eine Simulation der oben beschriebenen Anlage entworfen. Sie besteht aus einer schematischen Abbildung des Systems. Durch Anklicken von Stellreglern konnten Werte eingestellt und mittels Tastschalter Prozesse in Gang gesetzt werden. Einerseits lassen sich somit Funktionsparameter bestimmen, die den simulierten Prozess zum Teil determinieren, andererseits stellt es zugleich ein stilisiertes Abbild der Anlage dar, wodurch sich Kausalketten innerhalb der Maschine nachvollziehen lassen. Durch das klicken auf einen Reset-Button kann der Ausgangszustand wieder hergestellt werden (siehe Abb. 10).

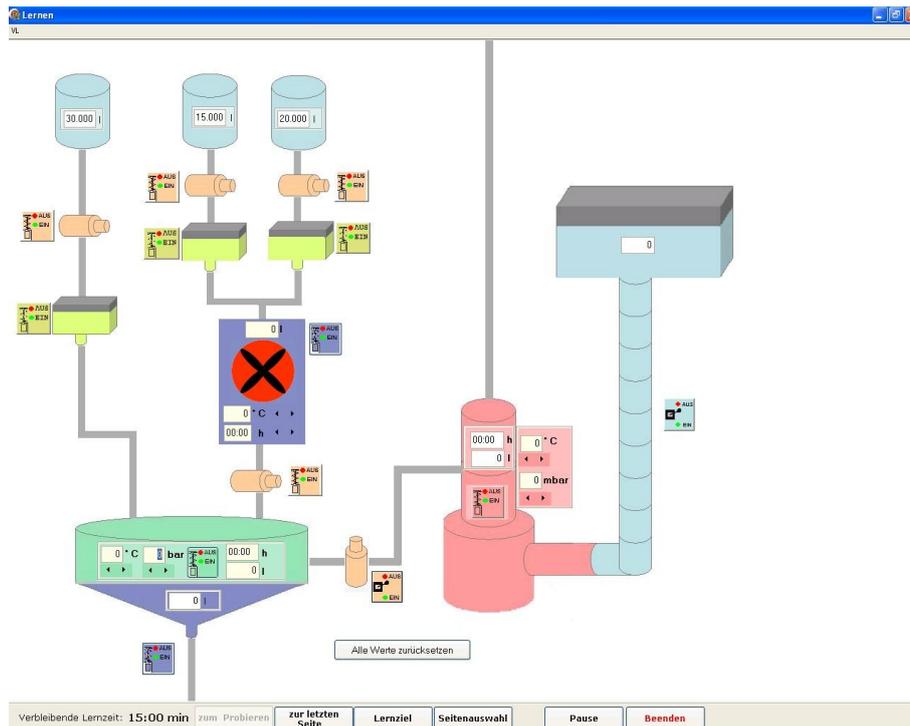


Abb. 10: Screenshot des Simulationswerkzeuges.

5.5 Testmaterialien

5.5.1 Fragebogen zur Person

Der Fragebogen zur Person enthält neben demographischen Angaben zu Alter, Geschlecht und höchstem Bildungsabschluss auch drei Fragen zur Vorerfahrung in der Computernutzung und mit Lernprogrammen (V1, siehe Abb. 11). Diese dienen zur Kontrolle der Vergleichbarkeit der Probandengruppen.

Auf die Erfassung des domänenspezifischen Vorwissens (Seifenproduktion) wird verzichtet, da ein solcher Test naturgegeben lernrelevante Informationen enthält, wodurch der Wissenszuwachs tendenziell unterschätzt würde. Kontrolliert wurde dieser Faktor durch die Art der Probanden, welche alle keinen chemisch-wissenschaftlichen Hintergrund besitzen.

V1 Werkzeugbezogenes Vorwissen: Das Vorwissen bzgl. der Verwendung von Computern und kognitiver Lernwerkzeuge wird durch 3 Items mit fünffach abgestuften Antwortformat erhoben. Die Fragen lauten „Wie schätzen Sie ihre Computerkenntnisse ein?“ (keine Kenntnisse - wenig Kenntnisse - einige Kenntnisse - gute Kenntnisse - sehr gute Kenntnisse), „Wie lange arbeiten Sie wöchentlich am Computer?“ (gar nicht - bis zu einer Stunde - bis zu 5 Stunden - bis zu 10 Stunden - mehr als 10 Stunden), „Welche Erfahrung haben Sie mit Lernprogrammen?“ (keine Erfahrung - wenig Erfahrung - einige Erfahrung - viel Erfahrung - sehr viel Erfahrung).

The screenshot shows a questionnaire titled "Fragebogen zur Person" with the following sections:

- Alter:** A text input field containing the number "0".
- Geschlecht:** Radio buttons for "männlich" and "weiblich".
- höchster Abschluss:** Radio buttons for "Hauptschule", "Realschule", "Abitur", "Fachhochschule", "Hochschule", and "sonstiger".
- derzeitige Tätigkeit:** Radio buttons for "arbeitslos", "berufstätig", "Azubi", and "StudentIn".
- ergänzende Angaben:** Text input fields for "Tätigkeit:", "Beruf:", "Lehrjahr:", "Fach:", and "Semster:".
- Computer-Kennntnisse:** A question "Wie schätzen Sie Ihre Computerkennntnisse ein?" with five radio buttons labeled "keine Kennntnisse", "wenig Kennntnisse", "einige Kennntnisse", "gute Kennntnisse", and "sehr gute Kennntnisse".
- Computer-Nutzung:** A question "Wie lange arbeiten Sie wöchentlich am Computer?" with five radio buttons labeled "gar nicht", "bis zu einer Stunde", "bis zu 5 Stunden", "bis zu 10 Stunden", and "Mehr als 10 Stunden".
- Lernprogramme:** A question "Welche Erfahrung haben Sie mit Lernprogrammen?" with five radio buttons labeled "keine Erfahrung", "wenig Erfahrung", "einige Erfahrung", "viel Erfahrung", and "sehr viel Erfahrung".

Abb. 11: Screenshot des Fragebogens zur Person.

5.5.2 Fragebogen zur aktuellen Motivationslage

Zur Messung des Commitments wird den Probanden der Fragebogen zur Erfassung der aktuellen Motivationslage (FAM) von Vollmeyer und Rheinberg (Rheinberg, Vollmeyer & Burns, 2001) vorgelegt (V2) (siehe Beispiel-Abb. 12). Die 17 Items, welche auf einer siebenstufigen Ratingskala zu beurteilen sind, wurden den Gegebenheiten diese Testreihe angepasst. Die Aussagen lassen sich fakto-renanalytisch den vier Skalen *Interesse* (Das Ausmaß, in dem eine Person einem Gegenstand eine positive Werthaltung und positive Gefühle entgegenbringt), *Herausforderung* (Das Ausmaß, in dem eine Person eine Situation leistungsthematisch interpretiert), *Erfolgswahrscheinlichkeit* (Das Ausmaß, in dem eine Person als Resultat eines Schwierigkeits-Fähigkeitsabgleichs meint, eine anstehende Aufgabe lösen zu können) und *Misserfolgsbefürchtung* (Ausmaß, in dem eine Person Befürchtungen bzgl. des Eintretens und der Konsequenzen eines Misserfolges hat) zuordnen. Alle Items mit ihrer jeweiligen Skalen-Zuordnung sind im Anhang aufgelistet (Tab. A1). Der FAM dient ebenfalls zur Kontrolle der Vergleichbarkeit der Probandengruppen. Die Reliabilität (Cronbachs α) des gesamten Instruments beträgt $\alpha = .67$ ($N = 207$). Für die Skalen ergeben sich folgende Werte: Interesse $\alpha = .72$, Herausforderung $\alpha = .65$, Erfolgswahrscheinlichkeit $\alpha = .78$, Misserfolgsbefürchtung $\alpha = .81$.

V2 Lernmotivation: Die Erfassung der Lernmotivation erfolgt über vier Variablen entsprechend der vier Skalen des Fragebogens zur aktuellen Motivationslage. Die Bewertungen der Items mit siebenfach abgestuften Antwortformat werden je Skala zu einem arithmetischen Mittel zusammengefasst.

1. Ich mag solche technischen Problemstellungen.

1 2 3 4 5 6 7

trifft nicht zu trifft zu

2. Ich glaube, der Schwierigkeit dieser Aufgabe gewachsen zu sein.

1 2 3 4 5 6 7

trifft nicht zu trifft zu

3. Wahrscheinlich werde ich die Aufgabe nicht schaffen.

1 2 3 4 5 6 7

trifft nicht zu trifft zu

Seite: 2 von 7

Abb. 12: Screenshot des Fragebogens zur aktuellen Motivationslage.

5.5.3 Wissenstest

Als inhaltsorientiertes Verfahren zur Messung der Güte des mentalen Modells (siehe Abschnitt 2.4) wurde ein Wissenstest im Multiple-Choice-Format entworfen. Die 54 Items decken die gesamte Informationsbasis ab und sind entsprechend der Kategorien zweier Dimensionen formuliert. Zum Einen werden drei verschiedene Inhaltsdomänen abgedeckt. Dadurch soll es möglich werden, eine fokussierende Wirkung durch die Toolnutzung auf einzelne Informationstypen ausweisen zu können (siehe Abschnitt 4.3). Zum Anderen lassen sich die Items nach ihrer Schwierigkeit sortieren. Die korrekten Antworten auf alle Mikroproposition-Aussagen finden sich wortwörtlich an jeweils einer Stelle der Textbasis. Zu ihrer Erinnerung reicht es, kleinste Sinneinheiten des Textes korrekt memoriert zu haben. Zur richtigen Beantwortung der Makroproposition-Aussagen müssen dagegen mehrere Informationen mit einander kombiniert werden, die zudem an verschiedenen Stellen in der Textbasis stehen. Da die Textseiten expositorisch gestaltet wurden - also nicht auf einander aufbauen oder miteinander verknüpft sind - kann bei diesen Aussagen davon ausgegangen werden, dass zu ihrer korrekten Beantwortung tiefere Informationsverarbeitungsprozesse für den Wissenserwerb von Nöten sind. Dies entspricht sowohl der postulierten Wirkweise kognitiver Lernwerkzeuge auf den Lernprozess (siehe Abschnitt 3.4) als auch im Resultat den Definitionsmerkmalen mentaler Modelle (siehe Abschnitt 2.2.1).

Zu jeder Aussage stehen vier Antworten zur Auswahl, von denen zu jeweils einem Drittel nur eine, zwei oder drei Alternativen richtig sind. Als korrekt gelöst gelten ausschließlich Items, bei denen alle richtigen Antwortalternativen und keiner der Distraktoren gewählt wird (vgl. Bortz & Döring, 2006; Westhoff & Bühner, 2010). Die Verteilung der Items über die genannten zwei Dimensionen ist nachfolgend in Tabelle 2 aufgeführt. Die exakte Zuordnung sowie die Itemformulierungen finden sich

im Anhang. Jedes Item wird auf einer eigenen Seite präsentiert (siehe Beispiel-Abb. 13). Um zur nächsten Seite zu gelangen, müssen die Versuchspersonen einen Button anklicken. Eine Antwort wird nicht erzwungen. Das Instrument weist eine Gesamt-Reliabilität von $\alpha = .82$ ($N = 207$) auf. Aufgeschlüsselt nach den einzelnen Itemzusammenstellungen ergeben sich folgende Werte: Items zu Makropropositionen $\alpha = .56$, Topologische Items $\alpha = .76$ und Aussagen zu Operationen $\alpha = .65$.

Tab. 2: Anzahl der Items in den Klassen des Multiple-Choice-Tests.

Inhaltsklasse	Mikropropositionen	Makropropositionen	Σ
Definition und Merkmale der Ausgangs- und Zwischenstoffe	10	0	10
Topologie	26	6	32
Einstell- und Bedienoperationen an Bauelementen	10	2	12
Σ	46	8	54

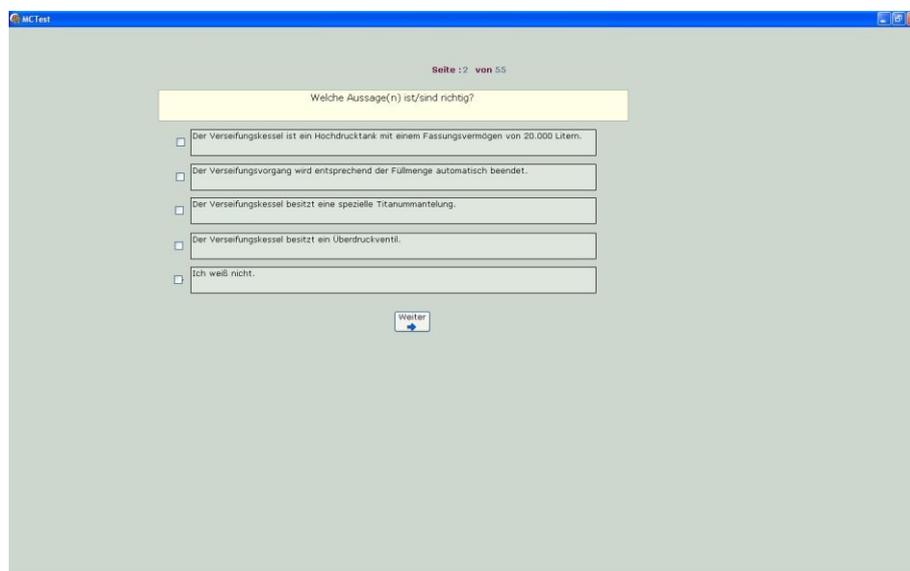


Abb. 13: Screenshot des Wissenstest.

5.5.4 Handlungsaufgaben

Die Untersuchung mentaler Modelle in Form der Wissensanwendung (siehe Abschnitt 2.4) erfolgt zunächst durch 13 Lokisationsaufgaben. Darin werden die Probanden gebeten, in einer schematischen Abbildung der Anlage verschiedene Bauteile per Mausklick zu identifizieren (Beispiel-Abb. 14). Alle Teilaufgaben sind im Anhang aufgelistet. Wissen sie die Antwort nicht, kann direkt zur nächsten Aufgabe gewechselt werden. Die Lokisationsaufgaben weisen eine Gesamt-Reliabilität von $\alpha = .82$ ($N = 207$) auf.

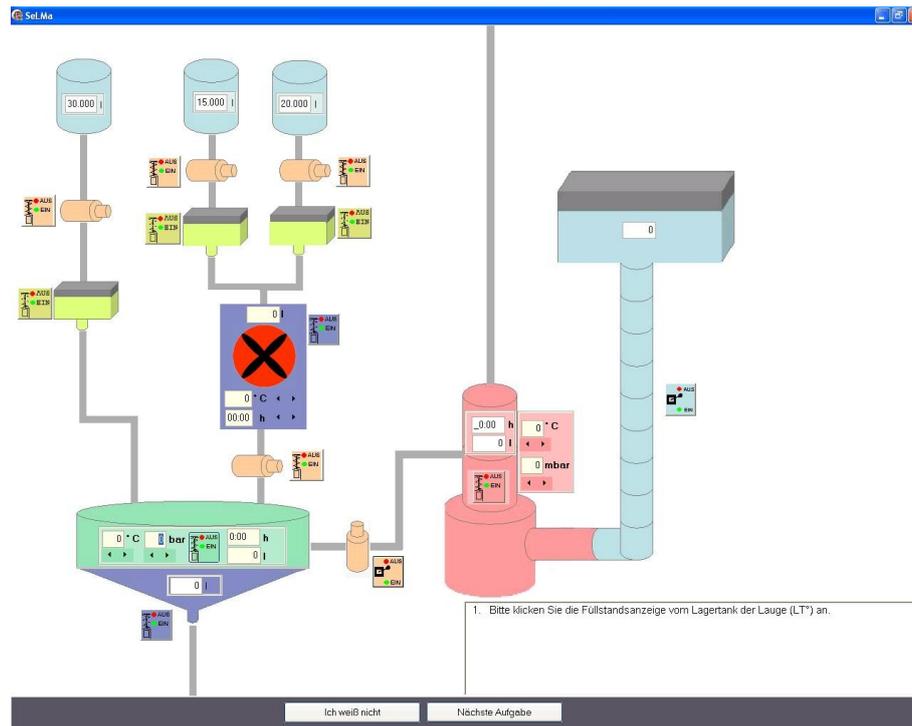


Abb. 14: Screenshot der Lokalisationsaufgabe.

Im Zuge einer anschließenden Steuerungsaufgabe soll der gesamte Verseifungsprozess exemplarisch vollzogen werden. Sie besteht aus zwei Teilaufgaben, in denen an einer Simulation der Seifenlaugenmaschine die Versuchsteilnehmer das System so bedienen sollen, dass eine vorbestimmte Menge Seife virtuell hergestellt wird (Abb. 15). Zu diesem Zweck lassen sich in der Abbildung nun über Stellregler Funktionsparameter festlegen und Prozesse initiieren, deren Wirkungen anschließend audio-visuell simuliert werden. Zur Lösung der ersten Anforderung müssen neun, für die zweite Teilaufgabe 19 Operationen mit insgesamt 24 bzw. 44 Handlungsschritten realisiert werden. Die Bewertung der Steuerungsaufgabe erfolgt durch einen Vergleich zwischen den Schrittabfolge der Probanden mit einem Idealablauf. Den Probanden stand es frei, auch diese Aufgaben zu überspringen. Eine Rückmeldung über die Güte der Antworten erfolgte nicht. Zur Berechnung der Zuverlässigkeit für die Steuerungsaufgabe wird jeder zu bewertende Operator (siehe V8) als dichotomes Item eines Fragebogens betrachtet. Die resultierende Reliabilität beträgt $\alpha = 72$ ($N = 207$).

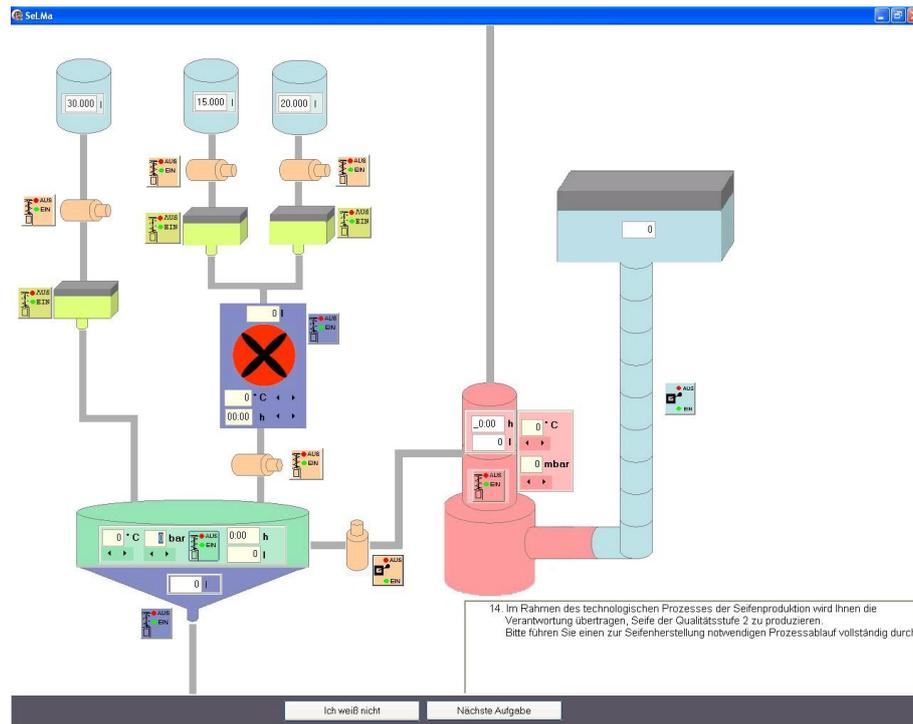


Abb. 15: Screenshot der Steuerungsaufgabe.

5.5.5 Nachbefragung

In Anlehnung an die Erhebungsinstrumente „*Lernstrategien im Studium*“ (LIST) von Wild, Schiefele & Winteler (1992; Wild & Schiefele, 1994) und „*Wie lernst Du?*“ (Lompscher, 1995) wurden zur Nachbefragung Items zu Tiefenstrategien beim Lernen formuliert, die sich auf die konkrete Lernsituation der Untersuchung beziehen. Der Fragebogen bestand aus insgesamt 13 Items (im Anhang), die auf einer fünfstufigen Ratingskala entsprechend der Häufigkeit ihres Einsatzes beurteilt werden mussten (siehe Beispiel-Abb. 16). Die Reliabilität des Instrumentes beträgt $\alpha = 0.59$ ($N = 207$).

Ich habe mir während des Lernens Teilziele gestellt.

nie selten manchmal häufig immer

Ich habe mir einen Überblick über die Textseiten der Informationsbasis verschafft.

nie selten manchmal häufig immer

Während des Lernens habe ich auf die noch verbleibende Lernzeit geachtet.

nie selten manchmal häufig immer

Seite : 2 von 10 [Weiter](#)

Abb. 16: Screenshot des Fragebogens zu selbstberichteten Tiefenstrategien beim Lernen.

5.6 Vergleich der Lern- & Testumgebungen

Die Versuchsmaterialien der beiden Lern- und Testumgebungen sind zum Großteil identisch. Im Folgenden werden diesbezügliche Unterschiede kurz erläutert. Eine ausführlichere Beschreibung der Methodik aus der Vergleichsreihe findet sich zusammenfassend bei Wipper (2004).

Lern- und Testumgebung

Die Lern- und Testumgebungen sind in Bezug auf die übergeordnete Anforderung an die Probanden, die Programmierung, die Protokollierung, die Reihenfolge der Untersuchungsinstrumente und das Versuchssetting identisch.

Die Einführungen in das Lernprogramm sowie Art und Darstellung der Lernziele und der Seitenauswahl sind ebenso übereinstimmend. Differenzen gibt es bzgl. der Informationsbasen. Zum Einen hatte jene der Vorgänger einen anderen Lerngegenstand (ein System zur Alkoholherstellung, siehe Kapitel 4) zum Thema, zum Anderen war sie mit 1100 Wörtern geringfügig kleiner. Darüber hinaus enthielt sie eine Beschreibung der Berechnung von Maßzahlen. Auf Grund der schlechten Erfahrungen mit dieser Anforderung wird in der vorliegenden Arbeit darauf verzichtet. Die Art des Inhaltes und die Darstellungsform sind wiederum identisch. Die Bedienung der Lernumgebungen ist ebenfalls gleich. Dasselbe gilt für die Navigation, die zeitliche Beschränkung für das Lesen der Textseiten auf 15 Minuten sowie die Bereitstellung von Papier und Bleistift während des Lernens.

Darüber hinaus entsprechen die jeweiligen Beschriftungs- und die Simulationswerkzeuge einander. Beide sind in der Art der Gestaltung, der Bedienung sowie in der Bewertung ihrer Nutzungsqualität identisch. Sie differieren lediglich in der zu Grunde liegenden Abbildung und folglich in der Anzahl möglicher Beschriftungen bzw. Operationen.

Operatorenwerkzeug:

Das Operatorenwerkzeug, wie es bei Schulz (2003; vgl. Wipper, 2004) verwendet wurde¹², unterscheidet sich grundlegend von jenem der vorliegenden Studie. Während im zurückliegenden Fall eine Tabelle zum Einsatz kam (siehe Abb. 17), ist es im aktuellen Fall eine Baumdarstellung. Die Bewertung der Güte der Werkzeugnutzung erfolgt jedoch in beiden Forschungsreihen identisch.

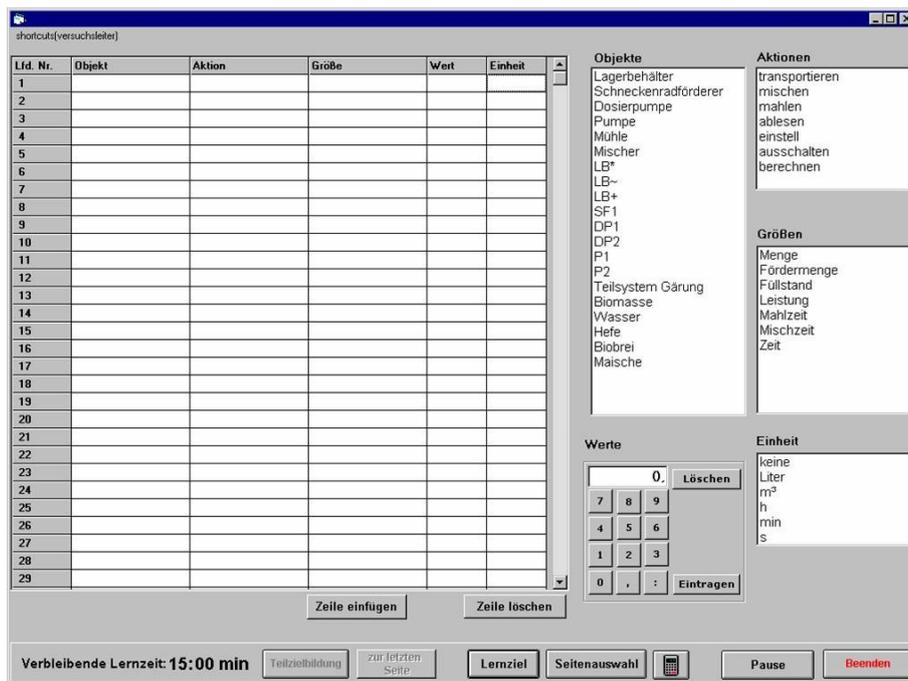


Abb. 17: Screenshot des Operatorenwerkzeugs von Schulz (2003).

Wissenstest:

Als inhaltsorientiertes Verfahren zur Messung der Güte des mentalen Modells nutzten die Autoren der Vorläuferstudien ebenfalls einen Wissenstest im Multiple-Choice-Format. Die Anzahl der Fragen, ihre thematische Zuordnung sowie die Verteilung der richtigen Antwortalternativen sind nahezu identisch. In der aktuellen Forschungsreihe fehlen lediglich Items zu Rechenoperationen, da auf deren Beschreibung in der Textbasis verzichtet wurde.

Handlungsaufgaben:

Die Lokalisationssaufgaben sind in der Art der Gestaltung, der Bedienung sowie in der Bewertung ihrer Lösungsqualität identisch. Sie differieren nur in der zu Grunde liegenden Abbildung sowie ihrer Anzahl - in der vorliegenden Studie sind es 13, in den Vergleichsstudien waren es 11.

¹² Der Autor verwendete synonym den Begriff ‚Teilzielbildungswerkzeug‘.

Die Steuerungsaufgabe in den Vorgängerstudien unterscheidet sich - neben der oben beschriebenen Simulation einer Alkoholmaschine - durch eine höhere Anforderung in den Einstellungen. Die Probanden mussten dort die richtigen Maßzahlen per Dreisatz anhand der vorgegebenen Gesamtmenge an Alkohol errechnen. In der vorliegenden Studie wird auf diese Anforderung verzichtet, es müssen nur im Text genannte Daten korrekt erinnert werden.

Die Bewertung der Handlungsaufgaben erfolgt identisch. Erwähnenswert ist zudem, dass in den aktuellen Experimenten auf weitere Handlungsaufgaben, wie sie im Rahmen der Vergleichsstudie noch angewendet wurden, auf Grund dort eingetretener Lerneffekte während der Testphase verzichtet wird. Dadurch sollten sich die Effekte der experimentellen Variation besser nachweisen lassen.

Alle weiteren Tests - der Fragebogen zur Person, die Messung des Commitments durch den Fragebogen zur aktuellen Motivationslage (FAM) sowie der Fragebogen zu selbstberichteten Tiefenstrategien beim Lernen - sind identisch.

Stichprobe:

Die Stichproben der beiden Versuchsreihen sind sich in ihrer Art und Zusammensetzung ähnlich. Sie differieren vor allem in Bezug auf ihre Umfänge. Sowohl die Anzahl aller Probanden der Vorgängerstudien (Gesamt $N = 82$, KG $N = 20$, EG_{BS} $N = 20$, EG_{OP} $N = 22$, EG_{SIM} $N = 20$) als auch die selektierte Stichprobe (Gesamt $N = 53$, KG $N = 20$, EG_{BS} $N = 11$, EG_{OP} $N = 6$, EG_{SIM} $N = 16$) ist deutlich kleiner.

In Tabelle 3 sind die Unterschiede zwischen den beiden Versuchsreihen noch einmal zusammengefasst.

Tab. 3: Überblick zu den Differenzen in der Methodik zwischen der aktuellen und der zum Vergleich herangezogenen Versuchsreihe.

	<i>Versuchsreihe der Vorgängerstudien</i>	<i>aktuelle Versuchsreihe</i>
Lerngegenstand	Anlage zur Herstellung von Alkohol	Anlage zur Herstellung von Seife
Umfang Informationsbasis	1100 Wörter	1199 Wörter
Berechnung von Maßzahlen	enthalten	Nicht enthalten
Operatorenwerkzeug	Tabelle	Baumdarstellung
Anzahl Lokisationsaufgaben	11	13
weitere Handlungsaufgaben	enthalten	nicht enthalten
selektierte Gesamtstichprobe	$N = 53$	$N = 87$

5.7 Operationalisierte Hypothesen

Im Folgenden soll beschrieben werden, wie mit Hilfe des oben genannten Versuchssettings die in Kapitel 4 genannten Hypothesen operationalisiert werden können. Bezüglich der H1_1 (*Die Verwendung der computergestützten Lernwerkzeuge erfolgt zusätzlich zu anderen Lernaktivitäten*) ist die

Dauer der verschiedenen generativen Aktivitäten der Probanden der erste Indikator für die Initiierung lernförderlicher tieferer Informationsverarbeitungsprozesse der Tools. Sollten sich die Zeiten für das Tätigen von Aufzeichnungen (V3) sowie für die Verwendung der drei digitalen Lernwerkzeuge (V4) additiv zusammensetzen, wäre dies ein Hinweis darauf, dass jedes dieser Tools kognitive Prozesse anregt, die nicht schon durch ein konventionelles Hilfsmittel (Verwendung von Papier & Bleistift) initiiert werden. Lee & Grabowski (2009) konnten zeigen, dass analoge und computergestützte Aktivitäten grundsätzlich ineinander überführbar sind. In Hinblick auf die Ergebnisse von Baartz (2001), Majewski (2002) und Schulz (2003; vgl. Wipper, 2004) wird im vorliegenden Fall erwartet, dass der Gebrauch eines digitalen Lernwerkzeuges nicht zu Lasten des konventionellen Hilfsmittels geht (und sich demzufolge auch die Gesamtlernzeit erhöht). Demzufolge sollte die Dauer für das Anfertigen von Aufzeichnungen in den drei Experimentalgruppen nicht kürzer sein als in der Kontrollgruppe:

H1_1a: Die Dauer des Anfertigens von Aufzeichnungen innerhalb der Experimentalgruppen ist nicht kürzer als innerhalb der Kontrollgruppe.

V3 Zeit für Aufzeichnungen: *Die Dauer für das Anfertigen von Notizen und Zeichnungen in Minuten.*

Noch differenzierter beleuchtet die H1_2 (*Die einzelnen computergestützten Lernwerkzeuge werden zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Lernprozess verwendet.*) die spezifische Wirkung der digitalen Lernwerkzeuge. Neben ihrer Anwendung als zusätzliche Aktivität zu den konventionellen Hilfsmitteln sollten sie zudem an jeweils unterschiedlichen Stellen im Lernprozess tiefer gehende kognitive Prozesse initiieren. Ein geeigneter Indikator hierfür ist der relative Zeitpunkt im Lernprozess, an dem ein Werkzeug genutzt wird (V4). Dazu werden die Aktivitäten auf den drei Lernwerkzeugen entlang des Lernverlaufes abgebildet. Entsprechend der Erwartung aus den Vorgängerstudien käme das Beschriftungstool dann überwiegend früher zum Einsatz als das Operatorenwerkzeug und dieses eher als die Simulation:

H1_2a: Die überwiegende Nutzung des Beschriftungswerkzeuges erfolgt früher als die des Operatorenwerkzeuges und der Simulation.

H1_2b: Die überwiegende Nutzung des Operatorenwerkzeuges erfolgt später als die des Beschriftungswerkzeuges und früher als die der Simulation.

H1_2c: Die überwiegende Nutzung des Simulationswerkzeuges erfolgt später als die des Beschriftungs- und Operatorenwerkzeuges.

V4 relative Werkzeugnutzung: *Ausgangspunkt sind die Aktionen (vollendete Bedienoperationen) am Werkzeug. Im Falle des Beschriftungswerkzeuges sind dies alle Einträge in die Textfelder bzw. deren Löschung. // Für das Operatorenwerkzeug sind dies alle Veränderungen an der Baumdarstellung, also das Hinzufügen, Löschen und Verändern der Position von Elementen. // Bezüglich der Simulation werden alle vollendeten Einstellungen und ausgeführte Klicks auf virtuelle Tastschalter als Aktionen gewertet. // Grauklicks werden bei keinem der Tools erfasst. Zur Berechnung der relativen Werkzeugnutzung wird der gesamte Lernverlauf je Versuchsperson in zehn Abschnitte(Dezile) unterteilt. Die Variable errechnet sich durch den Quotienten aus getätigten Aktionen im Zeitintervall zu allen Bedienoperationen.*

Als weiteres Maß für die Initiierung erweiterter kognitiver Prozesse gelten laut H1_3 (*Die Verwendung der computergestützten Lernwerkzeuge unterstützt die Bildung von Makropropositionen.*) übergeordnete Sinneinheiten über den Lerngegenstand. Hierzu werden jene Items des Wissenstests herangezogen, welche ausschließlich Makropropositionen erfassen (V5). Entsprechend der bereits bestehenden Befunde wird erwartet, dass die Probanden der Experimentalgruppen vermehrt Items dieses Typs richtig beantworten können:

H1_3a: Probanden der Experimentalgruppen beantworten mehr Items des Wissenstest zu Makropropositionen korrekt als die der Kontrollgruppe.

V5 Antwortgüte der Items zu Makropropositionen des Wissenstests: Zur Berechnung wird je richtig gelöstem Item dieses Typs ein Punkt vergeben. Die Frage gilt dann als korrekt beantwortet, wenn alle richtigen Antwortalternativen und keine der falschen gewählt wurden. Die Variable errechnet sich aus dem Quotienten von erreichter Punktzahl zur maximal möglichen.

Ein weiterer, subjektiver Indikator für tiefere kognitive Prozesse sind die retrospektiv berichteten Lernstrategien (V6, siehe Abschnitt 5.5.5) der Probanden, wie sie in der H1_4 (*Die Verwendung der computergestützten Lernwerkzeuge führt zu mehr tiefenorientierten Lernstrategien.*) thematisiert werden. In Anbetracht der bisherigen Datenlage wird an dieser Stelle erwartet, dass die Probanden der Experimentalgruppen häufiger von Tiefenstrategien beim Lernen berichten als die der Kontrollgruppe:

H1_4a: Probanden der Experimentalgruppen bewerten die Items des Fragebogens zu selbstberichteten Tiefenstrategien beim Lernen höher als die der Kontrollgruppe.

V6 Selbstberichtete Tiefenstrategien beim Lernen: Mittelwert über die Items des Fragebogens zu selbstberichteten Tiefenstrategien beim Lernen.

Die Güte des mentalen Modells, wie sie in der H1_5 (*Die Verwendung der computergestützten Lernwerkzeuge führt zu elaborierteren mentalen Modellen über den Lerngegenstand.*) angesprochen ist, wird durch ein inhalts- und ein anwendungsorientiertes Verfahren (siehe Abschnitt 2.4) erhoben. Als Vertreter der erstgenannten Klasse kann der Wissenstest betrachtet werden (V7). Die zweite Verfahrensgruppe wird durch die Steuerungsaufgabe abgedeckt (V8). Sollte sich die eingangs genannte Hypothese bestätigen, so müsste sich dies in einer größeren Anzahl richtig beantworteter Items im Wissenstest als auch einer effizienteren Steuerung der simulierten Anlage durch die Mitglieder der Experimentalgruppen zeigen:

H1_5a: Probanden der Experimentalgruppen beantworten mehr Items des Wissenstests korrekt als die der Kontrollgruppe.

H1_5b: Probanden der Experimentalgruppen zeigen eine höhere Effizienz in der Systemsteuerung als die der Kontrollgruppe.

V7 Antwortgüte der Items des Wissenstests: Zur Berechnung wird je richtig gelöstem Item ein Punkt vergeben. Die Aussage gilt dann als korrekt beantwortet, wenn alle richtigen Antwortalternativen und keine der falschen gewählt wurden. Die Variable errechnet sich aus dem Quotienten von erreichter Punktzahl zur maximal möglichen.

V8 Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe: Die Bewertung der Steuerungsaufgabe erfolgt zunächst durch den Vergleich des Lösungsschritte mit einem Idealablauf. Es wird jeweils ein Punkt vergeben, wenn ein richtiger Handlungsschritt unabhängig vom Zeitpunkt seiner Ausführung getätigt wurde, die Reihenfolge zwischen zwei Handlungen innerhalb einer Ziel-Aktions-Einheit zur Erreichung eines Teilziels korrekt war sowie wenn die logisch richtige Reihenfolge zwischen zwei Ziel-Aktions-Einheiten eingehalten wurde. Anschließend wird der so ermittelte Qualitätsindex mit der dafür verbrauchten Zeit zu einem Effizienzmaß verrechnet. Zur besseren Lesbarkeit wird dieser Wert mit 1000 multipliziert.

Die Falsifizierung der H1_6 (*Die einzelnen computergestützten Lernwerkzeuge fördern spezifische inhaltliche Teilaspekte des mentalen Modells über den Lerngegenstand.*) soll auf mehreren Wegen erfolgen. Aus den Daten von Wipper (2004) lassen sich diesbezüglich erste spezifische Erwartungen ableiten. Die Autorin zog aus ihrer integrativen Ergebnisanalyse den Schluss, dass Werkzeuge, die spätere Phasen im Lernmodell von de Kleer & Brown (1983) und Kieras (1988) unterstützen sollen, zugleich vorgelagerte Lernprozesse indirekt ebenfalls fördern, da die sinnvolle Verwendung dieser Tools erst durch den Aufbau eines Minimums an Vorwissen möglich wird. Konkret bedeutet dies, dass bspw. die Zusammenstellung der richtigen Bedienschritte im Operatorenwerkzeug nur dann gelingen kann, wenn sich die Probanden zuvor einen Überblick über die topologische Struktur der Anlage gemacht haben - ein Prozessschritt, der explizit nur durch das Beschriftungstool befördert wird. Die Probanden der Simulation wiederum müssen sich für die planvolle Erschließung der Systembedienung sowohl ein topologisches Grundwissen aneignen als auch einen viablen Handlungsplan entwerfen. Beide Aktivitäten werden durch das Tool nicht direkt unterstützt.

Ein solcher Effekt sollte sich als erstes in den Ergebnissen des Wissenstest niederschlagen. Für die differenzierte Analyse dieser Ergebnisse werden nachfolgend nur die beiden Inhaltsklassen *Topologie* (V9) und *Operatoren* (V10) betrachtet. Es steht zu erwarten, dass nicht nur die Experimentalgruppe mit Beschriftungswerkzeug ausführlicheres topologisches Wissen aufgebaut hat, sondern auch die Probanden der anderen beiden Tools. In den Items zu Operatoren dagegen sollten sich die Nutzer des Beschriftungstools auf dem Niveau der Kontrollgruppe bewegen, da das Erlernen solcher Inhalte für den sinnvollen Gebrauch dieses Werkzeuges nicht notwendig war. Die anderen beiden Probandengruppen sollten signifikant bessere Leistungen zeigen, da die einen durch das Operatorentool direkt und die anderen durch die Simulation indirekt in dieser Wissensdomäne gefördert wurden:

H1_6a: Probanden der Experimentalgruppen beantworten mehr Items mit topologischen Informationen korrekt als die der Kontrollgruppe.

H1_6b: Probanden der Experimentalgruppe mit Operatoren- und Simulationswerkzeug beantworten mehr Items mit operativen Informationen korrekt als die der Kontrollgruppe.

H1_6c: Die Experimentalgruppe mit Beschriftungstool unterscheidet sich in der Lösungsgüte der Items mit operativen Informationen nicht von der Kontrollgruppe.

V9 Antwortgüte der topologischen Items des Wissenstests: Zur Berechnung wird je richtig gelöstem Item dieses Typs ein Punkt vergeben. Die Frage gilt dann als korrekt beantwortet, wenn alle richtigen Antwortalternativen und keine der falschen gewählt wurden. Die Variable errechnet sich aus dem Quotienten von erreichter Punktzahl zur maximal möglichen.

V10 Antwortgüte der operativen Items des Wissenstests: Zur Berechnung wird je richtig gelöstem Item dieses Typs ein Punkt vergeben. Die Frage gilt dann als korrekt beantwortet, wenn alle richtigen Antwortalternativen und keine der falschen gewählt wird. Die Variable errechnet sich aus dem Quotienten von erreichter Punktzahl zur maximal möglichen.

Ein weiterer Zugang zur Bewertung der H1_6 sind die Lokalisationsaufgaben (V11). Hier zeigt sich, in wie weit die Versuchspersonen die topologische Struktur der Anlage erlernt haben. Im Gegensatz zu den topologischen Items des Wissenstests wird die Information an dieser Stelle jedoch nicht verbal sondern auf Basis einer Systemabbildung abgefragt. Hier sollte sich eine Überlegenheit jener Experimentalgruppen zeigen, deren Tool auf einer Darstellung der Anlage beruht. Dies gilt nur für das Beschriftungswerkzeug und die Simulation. Das Operatorentool dagegen basiert auf einer Baumstruktur, seine Nutzer sehen die schematische Darstellung der Maschine zu diesem Zeitpunkt das erste Mal. Sie sollten sich in ihren Leistungen daher nicht von denen der Kontrollgruppe unterscheiden:

H1_6d: Probanden der Experimentalgruppe mit Beschriftungs- und Simulationswerkzeug lösen mehr Lokalisationsaufgaben korrekt als die der Kontrollgruppe.

H1_6e: Probanden der Experimentalgruppe mit Operatorentool unterscheiden sich in der Lösungsgüte der Lokalisationsaufgaben nicht von der Kontrollgruppe.

V11 Lösungsqualität der Lokalisationsaufgaben: Anteil der vollständig richtig gelösten Aufgaben an der Gesamtzahl aller Lokalisationsaufgaben. Zur Bewertung wird die jeweils letzte Aktion der Versuchsperson vor dem Anklicken der Schaltfläche „Nächste Aufgabe“ herangezogen. War die Antwort vollkommen falsch, wurden 0 Punkte vergeben, 1 Punkt, wenn zumindest die Baugruppe richtig identifiziert wurde und 2 Punkte, wenn zudem das spezifische Bedienteil richtig erkannt wurde.

Im Rahmen der H1_7 (Die einzelnen computergestützten Lernwerkzeuge fördern in unterschiedlichem Maße die Ausprägung eines viablen Handlungsplanes.) wird die Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe einer detaillierteren Analyse unterzogen. Zu ihrer bestmöglichen Bewältigung müssen die Versuchspersonen den kompletten Lernprozess erfolgreich durchlaufen haben und sich somit topologisches Wissen aneignen, einen Handlungsplan erstellen und die Systembedienung proben. Einzig die Simulation befördert alle drei Prozessschritte (die ersten beiden indirekt, den letzten direkt). Es steht zu erwarten dass ihre Nutzer die besten Leistungen in der Steuerungsaufgabe erbringen. Das Operatorenwerkzeug befördert zwar nur die ersten beiden Modellstufen, seine Nutzer sollten dennoch davon profitieren, zumindest einen (unerprobten) Handlungsplan aufgestellt zu haben. Dieser steht den Nutzern des Beschriftungswerkzeuges erwartungsgemäß nicht zur Verfügung, ihre Leistung in der Systembedienung sollte demzufolge zwar besser sein als die der Kontrollgruppe (vgl. H1_5b), aber weit schlechter als die der anderen beiden Experimentalgruppen:

H1_7a: Probanden der Experimentalgruppe mit Simulationswerkzeug zeigen eine höhere Effizienz in der Systemsteuerung als die der Experimentalgruppe mit Operatorenwerkzeug.

H1_7b: Probanden der Experimentalgruppe mit Operatorenwerkzeug zeigen eine höhere Effizienz in der Systemsteuerung als die der Experimentalgruppe mit Beschriftungswerkzeug.

In der folgenden Tabelle 4 sind noch einmal alle in diesem Abschnitt genannten Hypothesen danach aufgelistet, welcher der beiden Forschungsfragen die Annahmen dienen und, ob die Hypothese einen globalen Effekt der Toolnutzung auszuweisen vermag oder einen spezifischen.

Tab. 4: Übersicht zu den Hypothesen.

	<i>Globaler Effekt</i>	<i>Spezifischer Effekt</i>
F1 (Förderung tieferer Informationsverarbeitung)	H1_1a	
	H1_3a	H1_2a-c
	H1_4a	
F2 (Förderung der Mentalen Modellbildung)	H1_5a-b	H1_6b-e
	H1_6a	H1_7a-b

5.8 Statistische Verfahren & Kennwerte

Die zur inferenz-statistischen Überprüfung der Hypothesen eingesetzten Verfahren richten sich nach der Anzahl und den Datenniveaus der unabhängigen und abhängigen Variablen (metrisch, ordinal, nominal) sowie nach der Art der Fragestellung (Unterschiedshypothese, Zusammenhangshypothese).

Die Auswahl der Effektgrößenmaße orientiert sich an den Empfehlungen von Cohen (1988). Für die varianzanalytischen Berechnungen wird η^2 (η^2) angegeben, wobei $\eta^2 = .0099$ für einen kleinen, $\eta^2 = .0588$ für einen mittleren und $\eta^2 = .1379$ für einen großen Effekt steht. Bei allen übrigen Verfahren wird die Effekstärke mit r bzw. Cramers V angegeben (Field, 2005). Nach Cohen (1988) beschreibt $r = .10$ bis $.29$ einen kleinen, $r = .30$ bis $.49$ einen mittleren und $r = .50$ bis 1.00 einen großen Effekt.

Die Hypothesentestung erfolgt auf einem a priori festgelegten Signifikanzniveau von $0,05$, d.h. das Risiko, die Nullhypothese (ein Unterschied ist nicht vorhanden) irrtümlich abzulehnen, beträgt maximal 5% . Hat eine Forschungshypothese die Existenz keines Unterschiedes zwischen Versuchsgruppen zum Inhalt, wird das Signifikanzniveau auf 0.1 hochgesetzt (Bortz & Döring, 2006). In Einklang mit den Voraussetzungen für gerichtete Hypothesen (Bortz, 2005; Leonhart & Lichtenberg, 2004; Pospeschill, 2006; Sachs, 2000) werden einseitige Tests dann eingesetzt, wenn die Existenz eines Unterschiedes formuliert wurde, der auf a priori genügend theoretischen und empirischen Informationen basiert und keine konkurrierenden Modelle mit gegensätzlicher Ausrichtung existieren. Alle statistischen Analysen werden mit dem Statistikpaket SPSS für Windows[®], Version 19 durchgeführt. Die Berechnung der Teststärken der t -Tests erfolgt mit dem Programm GPOWER[®], Version 2.0 (Faul & Erdfelder, 1992).

6 Ergebnisse der STUDIE I

Das folgende Kapitel enthält die ermittelten Ergebnisse aus den aktuell durchgeführten Studien und jener aus den Vorgängerexperimenten (Baartz, 2001; Majewski, 2002; Schulz, 2003; vgl. Wipper, 2004). Neben Mittelwerten und Standardabweichungen werden die Testgrößen und die exakten Wahrscheinlichkeiten berichtet. Darüber hinaus sind die jeweiligen Effektgrößen angegeben. Weiterhin finden sich im Anhang die entsprechenden Voraussetzungstests, Teststärken und im Text genannte Tabellen. Weiterführende Angaben zu den Daten der Vorgängerautoren (demographische Angaben, Kontrollvariablen, weitere statistische Analysen) können den entsprechenden Forschungsberichten entnommen werden.

6.1 Vergleichbarkeit der Versuchsgruppen

6.1.1 Selektion der Stichproben

Um eine Aussage über die Effekte der Nutzung kognitiver Lernwerkzeuge treffen zu können, dürfen nur Probanden mit in die statistischen Analysen einbezogen werden, die das Tool auch tatsächlich gebrauchten (V12). Da die Werkzeugverwendung freiwillig erfolgte, müssen im ersten Analyse-schritt diejenigen Versuchspersonen ausgewählt werden, die das Lernwerkzeug mindestens ein Mal aufrufen bzw. mindestens eine Aktion an ihm durchführten. Während für das Operatortool letzt genannte Bedingung erfüllt sein muss, gilt für das Beschriftungs- und Simulationswerkzeug, dass bereits der Aufruf genügt, damit es zu einer potentiellen Wirkung bzgl. der Informationsverarbeitung kommt. Dieses Vorgehen begründet sich durch den Umstand, dass beide Tools eine Abbildung der Seifenlaugenmaschine als Grundlage verwenden, womit bereits ihre äußeren Erscheinungsbilder informativen Charakter besitzen

V12 Toolnutzer: Als Toolnutzer gelten alle Versuchspersonen, die das Beschriftungswerkzeug bzw. die Simulation mindestens ein Mal aufrufen sowie alle Probanden, die das Operatortool mindestens eine Eingabe vornahmen.

Die mittels der Toolnutzung bereinigten Stichproben betragen für die Experimentalgruppe Beschriftungstool (EG_{BS}) $N = 20$, was 87% ihres Gesamtumfanges entspricht, für die Experimentalgruppe Operatortool (EG_{OP}) $N = 32$ (97%) und für die Experimentalgruppe Simulationstool (EG_{SIM}) $N = 29$ (100%).

Folgt man der oben genannten Begründung für ein solches Vorgehen, ist eine dichotome Betrachtung der Toolnutzung als alleiniges Auswahlkriterium noch unzureichend. Es kann angenommen werden, dass sich Effekte kognitiver Lernwerkzeuge auf die Informationsverarbeitung nur dann in Gänze bemessen lassen, wenn es zu einem ausreichenden Maß an Interaktion mit ihnen kommt (V13). Erst wenn Lernende in genügender Qualität Aktionen mit dem Tool realisieren, kann es in der Folge zu einer kognitiven Stimulanz kommen, wie sie in Kapitel 3 beschrieben wurde.

V13 Qualität der Werkzeugnutzung: Für das Beschriftungswerkzeug erfolgt die Berechnung der Toolnutzungsqualität durch eine Bewertung der Einträge in die editierbaren Textfelder: Für jede richtige und detaillierte Bezeichnung wird ein Punkt vergeben, für jede richtige Verwendung einer Oberkategorie - bspw. Lagerbehälter statt Lagerbehälter Wasser - wird ein halber Punkt gegeben. // Für das Operatorenwerkzeug erfolgt die Berechnung der Toolnutzungsqualität durch eine Bewertung der Einträge in die Baumstruktur: Es wird jeweils ein Punkt vergeben, wenn ein richtiger Operator in der Liste vorkam, die Reihenfolge zwischen zwei Operatoren innerhalb einer Ziel-Aktions-Einheit zur Erreichung eines Teilziels korrekt war sowie wenn die logisch richtige Reihenfolge zwischen zwei Ziel-Aktions-Einheiten eingehalten wurde. // Für die Simulation erfolgt die Berechnung der Toolnutzungsqualität durch eine Bewertung äquivalent zum Operatorenwerkzeug: nach Auswahl der besten zusammenhängenden Probe eines Produktionsverlaufes erfolgt die Punkvergabe auf dieselbe Weise. // Der Kennwert für die Toolnutzungsqualität ergibt sich in jedem der drei Fälle als Quotient aus erreichter Punktzahl zur maximalen.

Da nach Kenntnis des Autors keine empirische Arbeit zu diesem Thema existiert, wurde versucht, aus der zur Verfügung stehenden Gesamt-Stichprobe¹³ Hinweise auf einen angemessenen Cut-off Wert zu finden. Im Histogramm der Toolnutzungsqualität ($M = 0.66$, $SD = 0.34$) über die 118 betreffenden Versuchspersonen (Abb. 18) zeigt sich ein deutlicher Anstieg der Häufigkeiten ab einer Güte von .3.

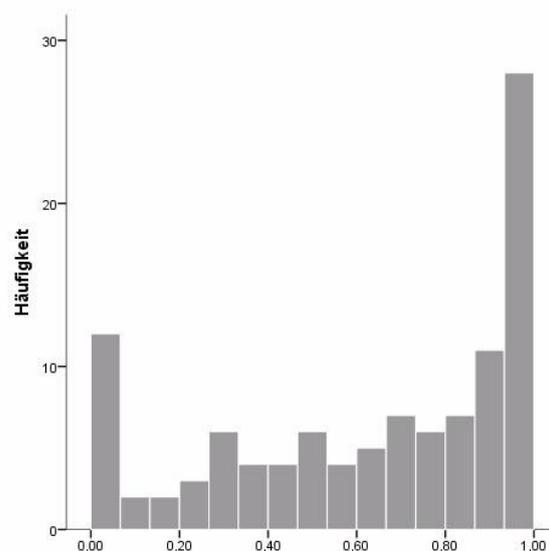


Abb. 18: Qualität der Werkzeugnutzung aus STUDIE I und II.

Die weiteren Berechnungen erfolgen nun ausschließlich mit den Probanden aus den Experimentalgruppen, die ein angebotenes Werkzeug nutzten und dabei eine Toolnutzungsqualität von $>.3$ aufwiesen, d.h. die mindestens ein Drittel der möglichen Operationen am Tool ausführten.

Die resultierenden Stichprobengrößen betragen nunmehr für die Experimentalgruppe EG_{BS} $N = 13$ (57%), für die EG_{OP} $N = 30$ (91%) und für die EG_{SIM} $N = 20$ (69%). Einschließlich der Kontrollgruppe ($N = 24$) resultiert eine bereinigte Gesamtstichprobe von $N = 87$. Da von allen Probanden alle Daten vorliegen, sind in jeder der nachfolgenden Berechnungen die Stichprobenumfänge gleich.

¹³ Um einen für alle Probandengruppen aus beiden Experimenten adäquaten Cut off-Wert zu ermitteln, wurde an dieser Stelle eine Stichprobe bestehend aus den Toolnutzern beider Studien genutzt.

Die Güte der Werkzeugnutzung unterscheidet sich zwischen den drei (bereinigten) Experimentalgruppen signifikant von einander, $F(2)^{14} = 4.09$, $p = .02$, $\eta^2 = .12$. Die höchsten Werte erzielten die Probanden mit Operatorenwerkzeug ($M = 0.94$, $SD = 0.06$), gefolgt von den Simulationsnutzern ($M = 0.87$, $SD = 0.22$) und den Nutzern des Beschriftungstools ($M = 0.8$, $SD = 0.18$).

Während in der Toolnutzung die Experimentalgruppen recht homogen erscheinen, erweisen sich die Differenzen in der Toolnutzungsqualität zwischen den Probanden als recht groß. Bis auf das neu gestaltete Operatortool sind diese Zahlen jedoch im Einklang mit den Erfahrungen von Baartz (2001) und Majewski (2002). Dieser Befund lässt sich im Sinne Lockwoods (1992; siehe Abschnitt 3.4) so interpretieren, dass sich den Nicht-Nutzern der Gewinn des Werkzeuges für den Lernerfolg nur unzureichend erschloss. Der implizite Aufforderungscharakter der drei Tools (Jonassen, 1992) ist folglich sehr verschieden ausgeprägt.

6.1.2 Demographische Daten & Kontrollvariablen

Im Folgenden werden die vier Versuchsgruppen auf ihre Vergleichbarkeit hin untersucht. Die Tabelle 5 zeigt die deskriptive Statistik des Alters, des Geschlechts sowie der betreffenden Skalen des Motivationsfragebogens und der Vorerfahrung.

Tab. 5: Deskriptive Statistik der Demographie- und Kontrollvariablen - Mittelwert und Standardabweichung bzw. Modalwert bzw. Binominalverteilung.

	KG <i>M (SD)</i>	EG _{BS} <i>M (SD)</i>	EG _{OP} <i>M (SD)</i>	EG _{SIM} <i>M (SD)</i>
Alter	25.33 (4.59)	24.38 (5.98)	24.27 (3.56)	26.75 (7.94)
PC-Kenntnisse	2.71 (1.04)	2.08 (0.86)	2.33 (0.76)	2.75 (1.16)
Erfahrung mit Lernprogrammen	1.04 (0.69)	0.85 (0.9)	0.67 (0.71)	0.7 (0.66)
Erfolgserwartung	4.42 (1.11)	4.37 (0.93)	3.74 (0.85)	4.66 (0.83)
Misserfolgsanreiz	1.48 (1.2)	1.98 (0.96)	2.47 (1.01)	1.91 (1.25)
Interesse	2.7 (0.96)	3.02 (0.75)	2.93 (1.14)	3.46 (1.06)
Herausforderung	3.72 (1.13)	3.85 (1.09)	3.83 (0.94)	3.96 (1)
	<i>Mod</i>	<i>Mod</i>	<i>Mod</i>	<i>Mod</i>
Zeit am Computer	5	4	5	5
	<i>weibl. / männ.</i>	<i>weibl. / männ.</i>	<i>weibl. / männ.</i>	<i>weibl. / männ.</i>
Geschlecht	9 / 15	8 / 12	15 / 15	9 / 4

In Bezug auf das Alter unterschieden sich die Probanden nicht von einander, $F(3) = 0.926$, $p = .43$, $\eta^2 = .03$. Dies gilt ebenso für die Verteilung der Geschlechter, $\chi^2(3) = 3.95$, $p = .27$, $V = .27$.

Die Vorerfahrung bzgl. computerbasierten Lernens ist in all seinen drei Facetten Computerkenntnisse ($H(3) = 6.43$, $p = .09$, $r = .18$), Zeit am Computer ($H(3) = 3.49$, $p = .32$, $r = .12$) und Erfahrungen mit Lernprogrammen ($H(3) = 4.33$, $p = .23$, $r = .13$) ebenso unbedeutend in ihren Unterschieden. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass die Vorerfahrung mit digitalen Lernwerkzeugen trotz einer äußerst ausgeprägten Computernutzung nur minimal war.

¹⁴ Korrigiert nach Welch.

Von den vier Facetten des Fragebogens zur aktuellen Motivationslage erweisen sich die Versuchsgruppen in den beiden Konstrukten Erfolgserwartungen ($F(3) = 4.58, p = .05, \eta^2 = .14$) und Misserfolgsanreiz ($F(3) = 3.59, p = .02, \eta^2 = .12$) als signifikant verschieden. In den beiden anderen Skalen Interesse ($F(3) = 2.12, p = .1, \eta^2 = .07$) und Herausforderungen ($F(4) = 0.21, p = .89, \eta^2 = .01$) unterscheiden sich die vier Versuchsgruppen dagegen nur unbedeutend.

Bei genauerer Betrachtung der beiden signifikant verschiedenen Variablen des Motivationsfragebogens lässt sich festhalten, dass die Aussicht auf Erfolg bei allen Probandengruppen größer ist als die Furcht vor Misserfolg. In den post hoc errechneten Zusammenhangsmaßen (Tab. D im Anhang) geht hervor, dass die Erfolgserwartung kaum einen Einfluss auf die abhängigen Variablen hat. Der Misserfolgsanreiz dagegen korreliert u.a. positiv mit der Leistung im Wissenstest, besonders den topologischen Items, sowie den selbstberichteten Tiefenstrategien beim Lernen. Da lediglich die Probanden der EG_{OP} durch ungewöhnlich hohe Furcht vor Misserfolg herausstechen, bedürfen ihre nachfolgenden Analysen einer besonderen Vorsicht in der Interpretation. Unter Berücksichtigung dieses Einzelbefundes lässt sich zusammenfassend festhalten, dass die angefallenen Teilstichproben insgesamt ohne besondere Einschränkungen vergleichbar sind.

6.2 Prüfung der operationalisierten Hypothesen

Im Folgenden werden für jede operationalisierte Hypothese zu Beginn jeweils die deskriptiv-statistischen Werte der betreffenden Variablen dargestellt. Darauf folgen die Ergebnisse der inferenzstatistischen Überprüfung von Mittelwertsunterschieden. Für diesen Vergleich innerhalb der Versuchsreihen wird eine einfaktorielle ANOVA¹⁵ (Faktor Versuchsgruppe) bzw. bei Verletzung der Voraussetzungen eine Rangvarianzanalyse gerechnet. Für die Übereinstimmung zwischen den Versuchsreihen werden auf Basis der Rohdaten von Baartz (2001), Majewski (2002) und Schulz (2003; vgl. Wipper, 2004) die Kennwerte einer zweifaktoriellen ANOVA¹⁴ (1. Faktor Versuchsgruppe, 2. Faktor Versuchsreihe) berichtet¹⁶. In allen Fällen bezeichnet VR_{neu} die aktuelle Versuchsreihe und VR_{alt} die zum Vergleich herangezogenen Ergebnisse der Vorgängerautoren, welche vollständig aus den bestehenden Rohdaten neu berechnet wurden. Für die Paarvergleiche wurden a priori definierte Kontraste verwendet bzw. bei Verletzung der Voraussetzungen post hoc durchgeführte U-Tests mit entsprechender Bonferroni-Adjustierung des Signifikanzniveaus.

¹⁵ Gilt nicht für die H1_2a-c.

¹⁶ Weil hier die Umfänge der Teilstichproben weit größer als $N = 10$ sind, wird das Verfahren auch bei Verletzung seiner Voraussetzungen verwendet, da es sich in solchen Fällen als robust erwiesen hat (Bortz, 2005).

6.2.1 Prüfung der Hypothese H1_1a

In der gerichteten Hypothese H1_1a wird angenommen, dass die Toolnutzung nicht zu Lasten der Verwendung von Papier & Bleistift geht. Dies sollte sich darin zeigen, dass die Zeiten für das Anfertigen von Aufzeichnungen innerhalb der Experimentalgruppen nicht kürzer sind als in der Kontrollgruppe. In Abbildung 19 sind zu Beginn die verschiedenen Zeiten aller Versuchsgruppen dargestellt.

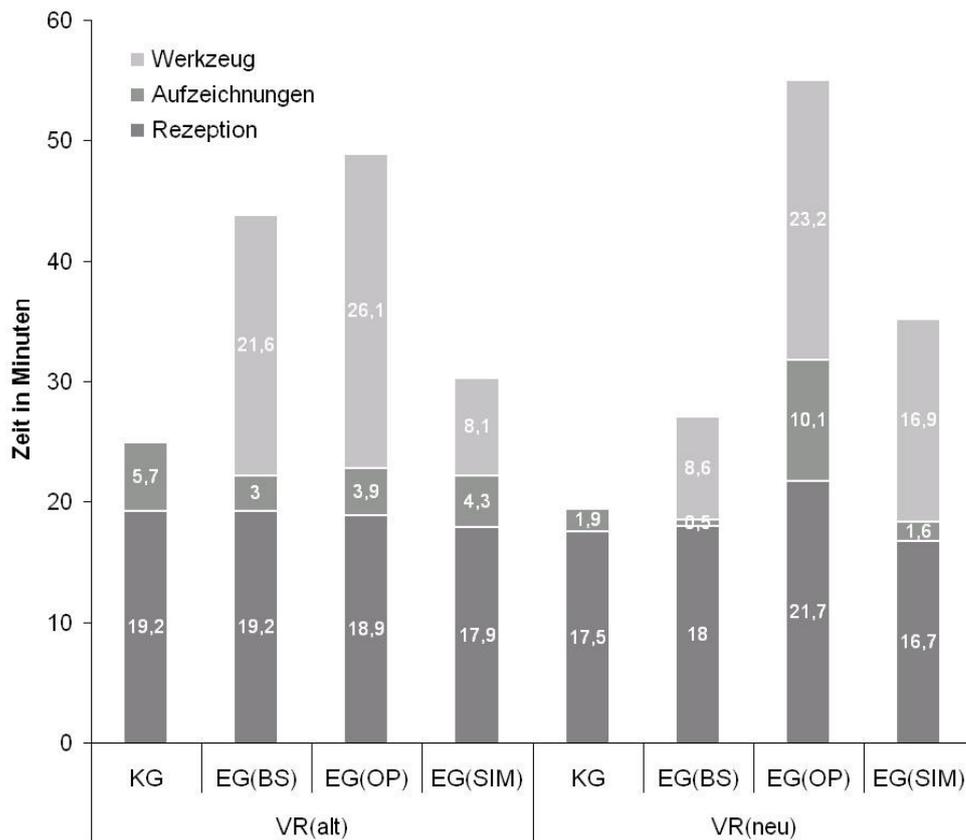


Abb. 19: Dauer für die Rezeption von Information, das Anfertigen von Aufzeichnungen und die Toolnutzung.

Aus der Tabelle 6 geht hervor, dass es in den aktuellen Daten zu einem signifikanten Gesamteffekt für die Aufzeichnungszeiten kommt. Da die VR_{alt} in ihren Ergebnissen weit homogener ist, fällt auch der diesbezüglich Vergleich mit der VR_{neu} bedeutend aus.

Tab. 6: Zeit für Aufzeichnungen - Mittelwert und Standardabweichung, Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Haupteffekte innerhalb der Versuchsreihen (intra VR) und zwischen den Versuchsreihen (inter VR).

		VG				Intra VR		Inter VR	
		KG	EG _{BS}	EG _{OP}	EG _{SIM}	TG	Sig EG	TG	Sig EG
		M (SD)	M (SD)	M (SD)	M (SD)				
Zeit für Aufzeich- nungen	VR _{neu}	1.86 (3.3)	0.5 (0.98)	10.11 (10.5)	1.56 (3.55)	H(3) = 23.31	p < .01 r = .32.	F(3) = 2.94	p = .04 η ² = .06
	VR _{alt}	5.67 (6.68)	3.02 (6.04)	3.93 (3.15)	4.33 (6.47)				

Die Tabelle 7 gibt einen Aufschluss darüber, auf welchen Paarvergleich der oben genannte Haupteffekt maßgeblich beruht. Hier bestätigt sich innerhalb der VR_{neu} jene Differenz zwischen Kontrollgruppe und EG_{OP}, die bereits in Abbildung 20 deutlich zu erkennen ist. Da sich in der VR_{alt} diese beiden Versuchsgruppen weit ähnlicher sind, fällt der Vergleich der beiden Versuchsreihen an dieser Stelle signifikant aus. Alle anderen Kontraste, auch zwischen den Versuchsreihen, unterscheiden sich dagegen nur unbedeutend von einander, auch wenn die betroffenen Probandengruppen teilweise weniger lang Papier & Bleistift nutzten.

Tab. 7: Zeit für Aufzeichnungen - Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Kontrasteffekte innerhalb der Versuchsreihen (intra VR) und zwischen den Versuchsreihen (Inter VR).

			Kontraste					
			KG - EG _{BS}		KG - EG _{OP}		KG - EG _{SIM}	
			TG	Sig EG	TG	Sig EG	TG	Sig EG
Zeit für Aufzeichnungen	Intra VR	VR _{neu}	$U = 127.5$	$p = .35$ $r = .15$	$U = 158$	$p < .01$ $r = .48$	$U = 239.5$	$p = .99$ $r < .01$
		VR _{alt}	$t(49) = -1.14$	$p = .26$ $r = .16$	$t(49) = -0.6$	$p = .55$ $r = .09$	$t(49) = -0.64$	$p = .52$ $r = .09$
	Inter VR	$F(1) = 0.2$	$p = .6$ $\eta^2 < .01$	$F(1) = 5.99$	$p = .02$ $\eta^2 = .07$	$F(1) = 0.2$	$p = .65$ $\eta^2 < .01$	

Die Verlaufsdaten erfüllen somit die Erwartung, dass die computer-gestützten Werkzeuge zusätzlich zu den konventionellen gebraucht werden. Dies verdeutlicht vor allem die Tatsache, dass es in beiden Versuchsreihen zu keinen signifikant *geringeren* Zeiten für das Benutzen von Papier & Bleistift in Kombination mit der Toolnutzung kam. Vielmehr scheint besonders das neu gestaltete Operatorentool eine sehr anregende Wirkung zu besitzen, da es seine Nutzer zu einer bedeutend höheren Notizenaktivität verleitet. Es kann somit angenommen werden, dass die digitalen Lernhilfen kognitive Prozesse anregen, die nicht schon durch Papier & Bleistift auf konventionelle Art initiiert werden.

6.2.2 Prüfung der Hypothesen H1_2a-c

Die drei ungerichteten Hypothesen H1_2a-c behandeln die zeitliche Toolnutzungscharakteristik. Darin ist die Erwartung formuliert, dass die Lernwerkzeuge zu unterschiedlichen Zeitpunkten zum Einsatz kommen, genauer das Beschriftungstool früher als das Operatorenwerkzeug und dies früher als die Simulation. In Abbildung 20 sind die Nutzungsverläufe für die drei Experimentalgruppen der VR_{neu} dargestellt. Je Zeitintervall ist der gemittelte relative Anteil an Toolaktionen abgetragen. Es ist deutlich zu erkennen, dass der höchste Wert für das Beschriftungswerkzeug im siebten Dezil liegt, der des Operatorenwerkzeuges dagegen erst im zehnten. Das Simulationswerkzeug wurde im achten Dezil am meisten benutzt. Insgesamt zeichnet sich so über alle drei Werkzeuge eine klare Rechtsverschiebung ab. Daraus lässt sich eine generell späte Verwendung der Werkzeuge schließen. Es legt die Vermutung nahe, dass das erste Drittel des Lernprozesses der Orientierung und Informationsaufnahme

dient, bevor mit Hilfe der Werkzeugen versucht wird, die Aufgabenstellung zu bewältigen.

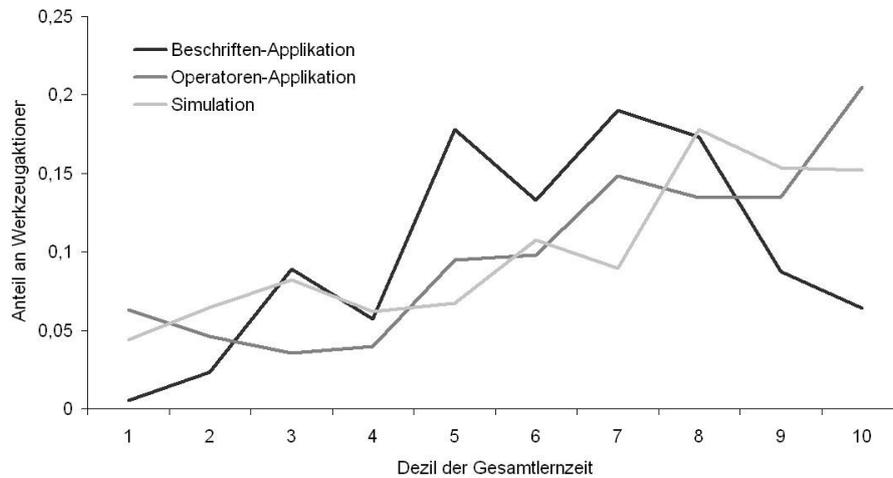


Abb. 20: Zeitlicher Nutzungsverlauf der drei Lernwerkzeuge der VR_{neu}.

Zur inferenz-statistischen Prüfung, ob die Unterschiede in den Zeitverläufen bedeutsam sind, wurde eine zweiseitig testende ANOVA mit Messwiederholung gerechnet (Faktor Experimentalgruppe). Da die Sphärizitätsannahme verletzt ist ($\chi^2(44) = 148.86, p < .01$), wurden die Freiheitsgrade nach Greenhouse-Geisser korrigiert ($\epsilon = .65$). Im Resultat unterscheiden sich die drei Experimentalgruppen signifikant in ihrer zeitlichen Toolnutzungscharakteristik, $F(11.66, 349.92) = 4.15, p < .01, \eta^2 = .12$.

Aus den Daten von Baartz (2001), Majewski (2002) und Schulz (2003; vgl. Wipper, 2004) lässt sich eine Graphik generieren, in der die EG_{BS} und EG_{OP} beide im siebten Dezil ihr Maximum an Toolaktionen aufweisen. Die Simulationsnutzer erreichen ihre Spitze im neunten Dezil. Auch hier ergibt sich ein insgesamt rechtsschiefes Bild (Abb. 21).

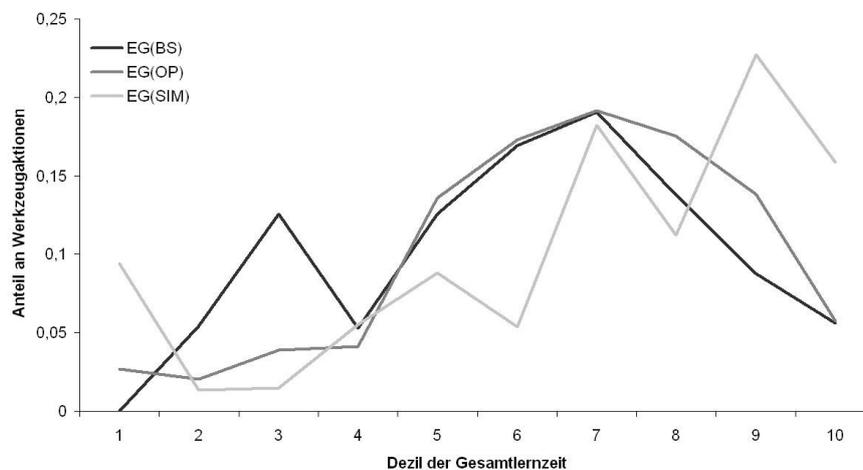


Abb. 21: Zeitlicher Nutzungsverlauf der drei Lernwerkzeuge aus der VR_{alt}.

Zur inferenz-statistischen Prüfung, ob die Unterschiede in den Zeitverläufen bedeutsam sind, wurde ebenfalls eine zweiseitig testende ANOVA mit Messwiederholung gerechnet (Faktor Experimentalgruppe). Da die Sphärizitätsannahme auch hier verletzt ist ($\chi^2(44) = 118.4, p < .01$), wurden die Freiheitsgrade nach Greenhouse-Geisser korrigiert ($\epsilon = .59$). Im Resultat unterscheiden sich die drei Experimentalgruppen zwar nicht signifikant in ihrer zeitlichen Toolnutzungscharakteristik, $F(10.56, 163.65) = 1.8, p = .06, \eta^2 = .1$, jedoch ist ein robuster Trend zu erkennen.

In einer zweiseitig testenden ANOVA mit Messwiederholung (1. Faktor Versuchsgruppe, 2. Faktor Versuchsreihe) wurde geprüft, ob die Versuchsreihe in Interaktion mit der Zugehörigkeit zu einer der Experimentalgruppen und den jeweiligen Nutzungsverläufen steht. Da die Sphärizitätsannahme abermals verletzt ist ($\chi^2(44) = 176.06, p < .01$), wurden die Freiheitsgrade erneut nach Greenhouse-Geisser korrigiert ($\epsilon = .71$). Im Resultat existiert ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen den beiden Faktoren und der Toolnutzung, $F(12.7, 571.41) = 1.83, p = .04, \eta^2 = .04$, was darauf hindeutet, dass die Unterschiede in den Nutzungsverläufen zwischen den Versuchsreihen nicht vergleichbar sind.

Im Fazit ist der Beitrag der Toolnutzungscharakteristik wenig eindeutig. Zwar bestätigt sich innerhalb der aktuellen Versuchsreihe die grundsätzliche Annahme, dass die drei Werkzeuge zu unterschiedlichen Zeitpunkten gebraucht werden und somit spezifisch den Lernprozess beeinflussen, jedoch ist ihre Reihenfolge nicht konform zur Theorie der mentalen Modellbildung technischer Systeme (de Kleer & Brown, 1983; Kieras, 1988), da das Operatorentool zumeist später im Lernprozess als die Simulation eingesetzt wurde. Innerhalb der Vergleichsreihe ist die Toolnutzungscharakteristik stärker modellkonform, allerdings bleiben die visuell erkennbaren Unterschiede statistisch unbedeutend, d.h. insgesamt ist der Werkzeuggebrauch der drei Probandengruppen indifferent. Dies lässt auf einen schlecht zu prädiktierenden Gebrauch des Werkzeuges schließen. Die Annahmen von de Kleer & Brown (1983) und Kieras (1988) lassen sich demnach kaum anwenden, so lange man den Lernenden nur eines der drei möglichen Hilfsmittel zur Verfügung stellt.

6.2.3 Prüfung der Hypothese H1_3a

Die Hypothese H1_3a beschreibt die gerichtete Annahme, dass die Probanden der Experimentalgruppen bedeutend mehr Makropropositionen während des Lernprozesses gebildet haben als die der Kontrollgruppe. In der Abbildung 22 sind zunächst die Mittelwerte aus den beiden Versuchsreihen als Balkendiagramm dargestellt.

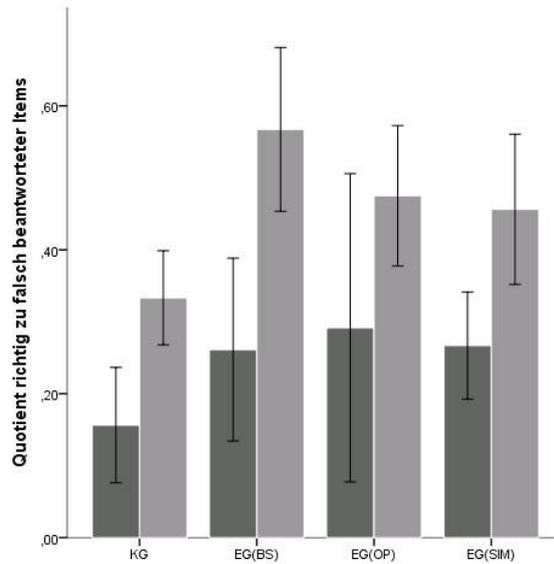


Abb. 22: Antwortgüte der Items zu Makropropositionen des Wissenstests (jeweils linker Balken VR_{alt}, jeweils rechter Balken VR_{neu}).

Die inferenz-statistischen Analysen in den Tabellen 8 und 9 zeigen, dass sich in der VR_{neu} alle Experimentalgruppen bedeutend von der Kontrollgruppe abheben. Aus den Vergleichsdaten ergibt sich ein ähnliches Bild. Hier unterscheiden sich alle drei Experimentalgruppen ebenfalls, wenn auch nur im Trend von der Kontrollgruppe. Der inferenz-statistische Vergleich beider Versuchsreihen unterstreicht diese Ähnlichkeit.

Tab. 8: Antwortgüte der Items zu Makropropositionen des Wissenstests - Mittelwert und Standardabweichung, Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Haupteffekte innerhalb der Versuchsreihen (Intra VR) und zwischen den Versuchsreihen (Inter VR).

		VG				Intra VR		Inter VR	
		KG	EG _{BS}	EG _{OP}	EG _{SIM}	TG	Sig EG	TG	Sig EG
		M	M	M	M				
		(SD)	(SD)	(SD)	(SD)				
Antwortgüte der Items zu Makropropositionen des Wissenstests	VR _{neu}	0.33 (0.15)	0.57 (0.19)	0.48 (0.26)	0.46 (0.22)	F(3) = 3.71	p = .02 η ² = .12	F(3) = 0.61	p = .61 η ² = .01
	VR _{alt}	0.16 (0.17)	0.26 (0.19)	0.29 (0.2)	0.27 (0.17)	F(3) = 1.89	p = .14 η ² = .1		

Tab. 9: Antwortgüte der Items zu Makropropositionen im Wissenstest - Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Kontrasteffekte innerhalb der Versuchsreihen (Intra VR) und zwischen den Versuchsreihen (Inter VR).

			Kontraste					
			KG - EG _{BS}		KG - EG _{OP}		KG - EG _{SIM}	
			TG	Sig EG	TG	Sig EG	TG	Sig EG
Antwortgüte der Items zu Makropropositionen des Wissenstests	Intra VR	VR _{neu}	t(21) = -3.83	p < .01 r = .64	t(48) = -2.48	p = .02 r = .34	t(33) = -2.08	p = .05 r = .34
		VR _{alt}	t(49) = 1.65	p = .11 r = .23	t(49) = 1.71	p = .09 r = .24	t(49) = 1.94	p = .06 r = .27
	Inter VR		F(1) = 2.16	p = .15 η ² = .03	F(1) < 0.01	p = .96 η ² < .01	F(1) = 0.02	p = .88 η ² < .00

Die aktivierende Wirkung der Werkzeuge ließ sich an dieser Stelle somit sehr gut nachweisen. In beiden Versuchsreihen verfügten am Ende des Lernens die Probanden der Experimentalgruppen tatsächlich über bedeutend mehr Makropropositionen als die Kontrollgruppe, was der werkzeuggestützten tieferen Informationsverarbeitung zugeschrieben werden kann.

6.2.4 Prüfung der Hypothese H1_4a

Die gerichtete Hypothese H1_4a behandelt als letzte dieses Komplexes tiefere Informationsverarbeitung. In ihr ist die Erwartung formuliert, dass die Probanden der Experimentalgruppen im Nachgang bedeutend häufiger tiefenorientierte Lernstrategien berichten als die der Kontrollgruppe. In den Analysen (Tab. 10 und 11) zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den vier Versuchsgruppen. Das gleiche gilt für die Vergleichsdaten. Folgerichtig ergeben sich auch keine bedeutenden Unterschiede zwischen den Versuchsreihen.

Tab. 10: Selbstberichtete Tiefenstrategien beim Lernen - z-standardisierter Mittelwert und Standardabweichung, Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Haupteffekte innerhalb der Versuchsreihen (Intra VR) und zwischen den Versuchsreihen (Inter VR) (z-Werte).

		VG				Intra VR		Inter VR	
		KG M (SD)	EG _{BS} M (SD)	EG _{OP} M (SD)	EG _{SIM} M (SD)	TG	Sig EG	TG	Sig EG
Selbstberichtete Tiefenstrategien beim Lernen	VR _{neu}	-0.05 (0.44)	-0.1 (0.41)	0.06 (0.3)	-0.01 (0.53)	F(3) = 0.6 H(3) = 1.821	p = .31 η ² = .02. p = .38 r = .04	F(3) = 0.04	p = .99 η ² < .01
	VR _{alt}	-0.43 (0.33)	0.07 (0.36)	0.04 (0.21)	-0.01 (0.6)				

Tab. 11: Selbstberichtete Tiefenstrategien beim Lernen - Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Kontrasteffekte innerhalb der Versuchsreihen (Intra VR) und zwischen den Versuchsreihen (Inter VR).

		Kontraste						
		KG - EG _{BS}		KG - EG _{OP}		KG - EG _{SIM}		
		TG	Sig EG	TG	Sig EG	TG	Sig EG	
Selbstberichtete Tiefenstrategien beim Lernen	Intra VR	VR _{neu}	t(83) = -0.34	p = .37 r = .04	t(83) = -1.02	p = .16 r = .11	t(83) = -0.34	p = .37 r = .04
		VR _{alt}	U = 88	p = .18 r = .16	U = 52	p = .31 r = .01	U = 133	p = .19 r = .14
	Inter VR		F(1) = 0.41	p = .84 η ² < .01	F(1) = 0.01	p = .94 η ² < .01	F(1) = 0.05	p = .82 η ² < .01

Jede der insgesamt acht Versuchsgruppen - egal ob mit oder ohne Werkzeug - berichtete zum Versuchsabschluss in etwa gleichem Ausmaß von tiefenorientiertem Lernverhalten. Dieses unerwartete Ergebnis spricht gegen eine (subjektiv empfundene) tiefere Informationsverarbeitung, die durch die Werkzeuge angeregt werden soll.

6.2.5 Prüfung der Hypothesen H1_5a-b

Die gerichteten Hypothesen H1_5a-b behandeln die Auswirkungen der Toolnutzung auf die mentale Modellbildung. Es wird vermutet, dass sich dies in der Lösungsgüte des Wissenstests als auch auf die Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe niederschlagen sollte. In den Abbildungen 23 und 24 sind zunächst die Mittelwerte aller Versuchsgruppen graphisch dargestellt.

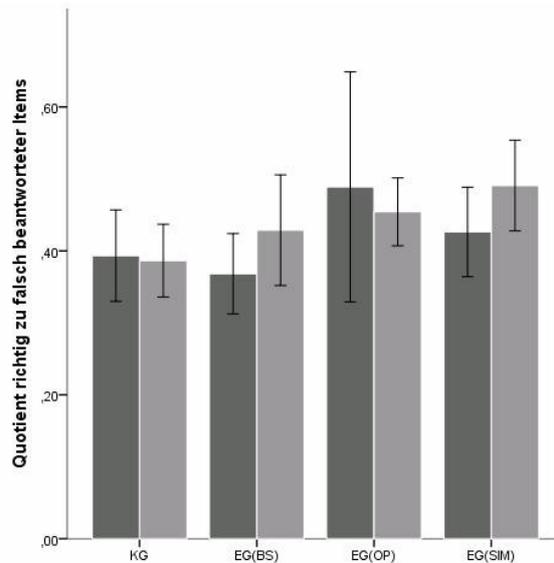


Abb. 23: Antwortgüte der Items des Wissenstests (jeweils linker Balken VR_{ait}, jeweils rechter Balken VR_{neu}).

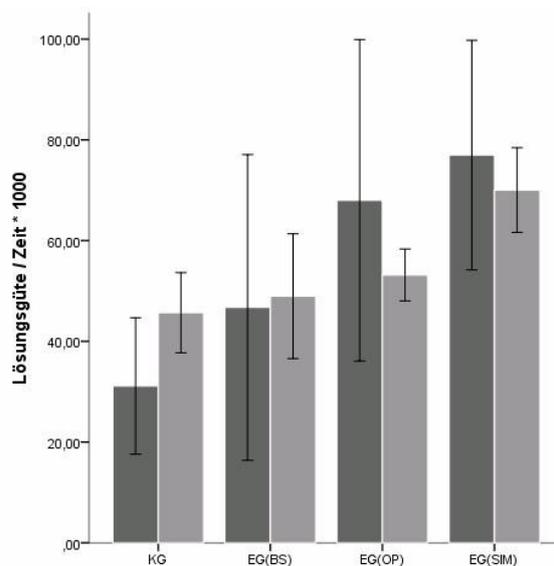


Abb. 24: Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe (jeweils linker Balken VR_{ait}, jeweils rechter Balken VR_{neu}).

Betrachtet man sich zunächst nur die Werte für den gesamten Wissenstest (Tab. 13 und 14), dann beantworten in der aktuellen Versuchsreihe nur die Probanden mit Operatortool und Simulation bedeutend mehr Items richtig als die Kontrollgruppe. In den Vergleichsdaten trifft dies ausschließlich für die EG_{OP} zu. Trotz dieser Differenzen zwischen den Versuchsreihen sind die Ergebnisse statistisch vergleichbar.

In der Lösungseffizienz der Steuerungsaufgabe ergibt sich ein sehr ähnliches Bild. Auch hier erzielen die Nutzer von Operatortool und Simulation im Trend bzw. signifikant bessere Resultate als die Kontrollgruppe. Das gleiche gilt in diesem Fall auch für die Daten von Baartz (2001), Majewski (2002) und Schulz (2003; vgl. Wipper, 2004). In der Gegenüberstellung der beiden Reihen ergeben sich abermals keine bedeutenden Unterschiede.

Tab. 12: Antwortgüte der Items des Wissenstests und Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe - Mittelwert und Standardabweichung, Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Haupteffekte innerhalb der Versuchsreihen (Intra VR) und zwischen den Versuchsreihen (Inter VR).

		VG				Intra VR		Inter VR	
		KG	EG _{BS}	EG _{OP}	EG _{SIM}	TG	Sig EG	TG	Sig EG
		M	M	M	M				
		(SD)	(SD)	(SD)	(SD)				
Antwortgüte der Items des Wissenstests	VR _{neu}	0.39 (0.12)	0.43 (0.13)	0.45 (0.13)	0.49 (0.13)	F(3) = 2.67	p = .03 η ² = .09	F(3) = 1.06	p = .37 η ² = .02
	VR _{alt}	0.39 (0.14)	0.37 (0.08)	0.49 (0.15)	0.43 (0.12)	F(3) = 1.47	p = .12 η ² = .08		
Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe	VR _{neu}	45.68 (18.88)	48.97 (20.49)	53.17 (13.8)	70.04 (18.01)	F(3) = 7.93	p < .01 η ² = .22	F(3) = 1.8	p = .15 η ² = .04
	VR _{alt}	31.14 (28.94)	46.72 (45.16)	68 (30.4)	76.97 (42.75)	H(3) = 11.98	p < .01 r = .04		

Tab. 13: Antwortgüte der Items des Wissenstests und Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe - Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Kontrasteffekte innerhalb der Versuchsreihen (Intra VR) und zwischen den Versuchsreihen (Inter VR).

			Kontraste					
			KG - EG _{BS}		KG - EG _{OP}		KG - EG _{SIM}	
			TG	Sig EG	TG	Sig EG	TG	Sig EG
Antwortgüte der Items des Wissenstests	Intra VR	VR _{neu}	t(83) = -0.97	p = .17 r = .11	t(83) = -1.96	p = .03 r = .21	t(83) = -2.72	p < .01 r = .29
		VR _{alt}	t(49) = 0.55	p = .29 r = .08	t(49) = -1.67	p = .05 r = .23	t(49) = -0.8	p = .21 r = .11
	Inter VR		F(1) = 1.19	p = .28 η ² = .02	F(1) = 0.16	p = .69 η ² < .01	F(1) = 1.54	p = .22 η ² = .02
Effizienz bei Lösung der Steuerungsaufgabe	Intra VR	VR _{neu}	t(83) = -0.55	p = .29 r = .06	t(83) = -1.58	p = .06 r = .17	t(83) = -4.68	p < .01 r = .46
		VR _{alt}	U = 87.5	p = .17 r = .17	U = 24	p = .01 r = .43	U = 62,5	p < .01 r = .52
	Inter VR		F(1) = 0.75	p = .39 η ² = .01	F(1) = 6.56	p = .01 η ² = .08	F(1) = 2.98	p = .09 η ² = .04

In der Gesamtbetrachtung lässt sich festhalten, dass die Operatortool- und Simulationsnutzer aus beiden Versuchsreihen wie erwartet am Ende des Lernens über ein bedeutend elaborierteres mentales Modell als die Kontrollgruppe verfügen, was sich in einer größeren Anzahl richtig gelöster Items im Wissenstest sowie einer effizienteren Bedienung der virtuellen Anlage niederschlug. Insbesondere das letztgenannte Handlungswissen ist hier herauszustellen, da die betreffenden Informationen nicht zur Verfügung standen. Zudem wurden an dieser Stelle erstmalig mittlere bis hohe Effektgrößen erzielt. Die Probanden mit Beschriftungswerkzeug heben sich dagegen entgegen der Prognose nicht bedeutend von der Kontrollgruppe ab. Offensichtlich wurde hier der Lernprozess zu früh abgebrochen und es kam nicht zur Herausbildung eines adäquaten und handlungsreifen mentalen Modells.

6.2.6 Prüfung der Hypothesen H1_6a-c

Die Hypothesen H1_6a-c beinhalten die Annahme, dass die Nutzer aller Werkzeuge besseres topologisches Wissen aufgebaut haben als die Kontrollgruppe, aber nur die Probanden mit Operatortool und Simulation darüber hinaus auch noch Kenntnisse über die Bedienung der Anlage. Die beiden Abbildungen 25 und 26 verdeutlichen die Mittelwerte in den beiden Variablen für alle Versuchsgruppen graphisch.

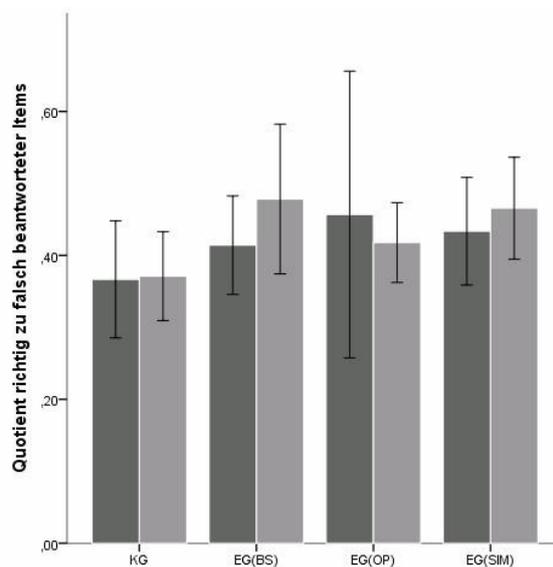


Abb. 25: Antwortgüte der topologischen Items des Wissenstests (jeweils linker Balken VR_{alt}, jeweils rechter Balken VR_{neu}).

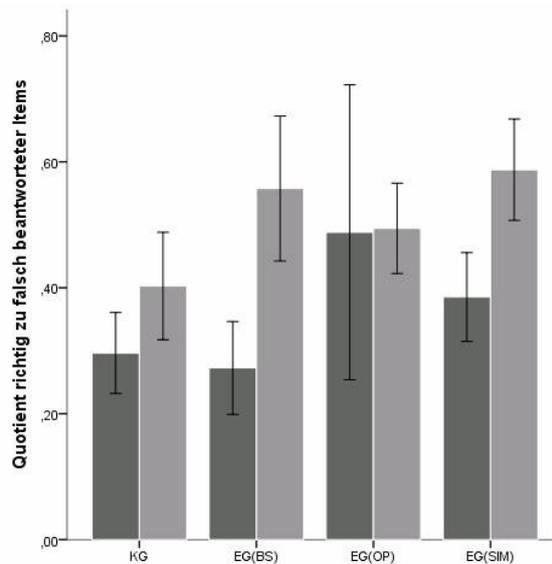


Abb. 26: Antwortgüte der operativen Items des Wissenstests (jeweils linker Balken VR_{alt}, jeweils rechter Balken VR_{neu}).

Betrachtet man sich wieder zunächst die Resultate der topologischen Items des Wissenstests in Tabelle 14 und 15, heben sich nur die Nutzer des Beschriftungswerkzeuges und der Simulation bedeutend von der Kontrollgruppe ab. Im Vergleich zu den früheren Studien ergeben sich dagegen keinerlei Lernunterschiede zwischen den Versuchsteilnehmern. Insgesamt bleiben die Differenzen zwischen den Versuchsreihen im Rahmen des Zufalls.

In den Items mit operativen Inhalten erreichen alle drei Experimentalgruppen deutlich bessere Werte als die Kontrollgruppe. In den Vergleichsdaten gilt dies nicht für die EG_{BS}, während die Probanden der EG_{OP} und EG_{SIM} signifikant mehr operatives Wissen aufbauten. Im Vergleich der beiden Datensätze spiegelt sich diese Differenz erneut wider und führt zu einer signifikanten Testgröße, auch für den Gesamtvergleich.

Tab. 14: Antwortgüte der topologischen und operativen Items des Wissenstests - Mittelwert und Standardabweichung, Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Haupteffekte innerhalb der Versuchsreihen (Intra VR) und zwischen den Versuchsreihen (Inter VR).

		VG				Intra VR		Inter VR	
		KG M (SD)	EG _{BS} M (SD)	EG _{OP} M (SD)	EG _{SIM} M (SD)	TG	Sig EG	TG	Sig EG
Antwortgüte der topologi- schen Items des Wissens- tests	VR _{neu}	0.37 (0.15)	0.48 (0.17)	0.42 (0.15)	0.47 (0.15)	$F(3) = 2.03$	$p = .06$ $\eta^2 = .07$	$F(3) = 0.47$	$p = .7$ $\eta^2 = .01$
	VR _{alt}	0.37 (0.17)	0.41 (0.1)	0.46 (0.19)	0.43 (0.14)	$F(3) = 0.84$	$p = .24$ $\eta^2 = .05$		
Antwortgüte der operati- ven Items des Wissens- tests	VR _{neu}	0.40 (0.2)	0.60 (0.2)	0.49 (0.19)	0.59 (0.17)	$F(3) = 3.9$	$p < .01$ $\eta^2 = .12$	$F(3) = 2.82$	$p = .04$ $\eta^2 = .06$
	VR _{alt}	0.3 (0.14)	0.27 (0.11)	0.49 (0.22)	0.39 (0.13)	$F(3) = 4.15$	$p < .01$ $\eta^2 = .2$		

Tab. 15: Antwortgüte der topologischen und operativen Items des Wissenstests - Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Kontrasteffekte innerhalb der Versuchsreihen (Intra VR) und zwischen den Versuchsreihen (Inter VR).

			Kontraste					
			KG - EG _{BS}		KG - EG _{OP}		KG - EG _{SIM}	
			TG	Sig EG	TG	Sig EG	TG	Sig EG
Antwortgüte der topologi- schen Items des Wissens- tests	Intra VR	VR _{neu}	$t(83) = 2.05$	$p = .02$ $r = .22$	$t(83) = 1.12$	$p = .13$ $r = .12$	$t(83) = 2.05$	$p = .02$ $r = .22$
		VR _{alt}	$t(49) = -0.82$	$p = .21$ $r = .12$	$t(49) = -1.26$	$p = .12$ $r = .17$	$t(49) = 1.3$	$p = .1$ $r = .18$
	Inter VR		$F(1) = 0.58$	$p = .45$ $\eta^2 = .01$	$F(1) = 0.26$	$p = .61$ $\eta^2 < .01$	$F(1) = 0.16$	$p = .69$ $\eta^2 < .01$
Antwortgüte der operati- ven Items des Wissenstests	Intra VR	VR _{neu}	$t(83) = 2.36$	$p = .01$ $r = .25$	$t(83) = -1.76$	$p = .04$ $r = .19$	$t(83) = 3.21$	$p < .01$ $r = .33$
		VR _{alt}	$t(49) = 0.44$	$p = .33$ $r = .06$	$t(49) = -2.89$	$p < .01$ $r = .38$	$t(49) = -1.86$	$p = .03$ $r = .26$
	Inter VR		$F(1) = 4.24$	$p = .04$ $\eta^2 = .06$	$F(1) = 1$	$p = .32$ $\eta^2 = .01$	$F(1) = 1.61$	$p = .21$ $\eta^2 = .02$

In Bezug auf ihr topologisches Wissen über den Lerngegenstand profitieren offensichtlich sämtliche Werkzeugnutzer kaum. Es stand zu erwarten, dass alle Tools diesen Lernschritt direkt (Beschriftungswerkzeug) oder indirekt (Operatorenwerkzeug und Simulation) fördern. Im Resultat erreichen nur die Probanden mit Beschriftungstool und Simulation der aktuellen Versuchsreihe signifikant bessere Werte in den betreffenden Items des Wissenstests, die Effektgrößen bleiben aber über alle Paarvergleiche hinweg marginal.

Ganz anders dagegen die Befundlage bei den operativen Items. Hier unterstützen entgegen der Erwartung, nur das Operatorenwerkzeug und die Simulation würden sich abgrenzen, alle Lernhilfen der VR_{neu} das deskriptive Wissen um die Bedienung der Anlage, also auch das Beschriftungstool. Die Werkzeuge der VR_{alt} dagegen entfalten eine hypothesenkonforme spezifische Wirkung. Hier bewirken nur die digitalen Hilfsmittel der EG_{OP} und der EG_{SIM} eine stärkere Ausprägung des deklarativen Bedienungs-wissens. Dieser Unterschied zwischen den Versuchsreihen bestätigt sich auch im inferenzstatistischen Vergleich, der für die EG_{BS} die Signifikanzschwelle unterschreitet.

6.2.7 Prüfung der Hypothesen H1_6d-e

Die Hypothesen H1_6d-e gehen einer ähnlichen Frage nach wie die drei zuvor genannten. Hier gilt es zu überprüfen, ob die Nutzer des Beschriftungswerkzeuges und der Simulation auf Grund der Systemabbildung in ihren Tools eine höhere Lösungsgüte in den Lokalisationsaufgaben erreichen als die Probanden mit Operatorenwerkzeug. Die Abbildung 27 verdeutlicht zunächst die Mittelwerte aller Versuchsgruppen.

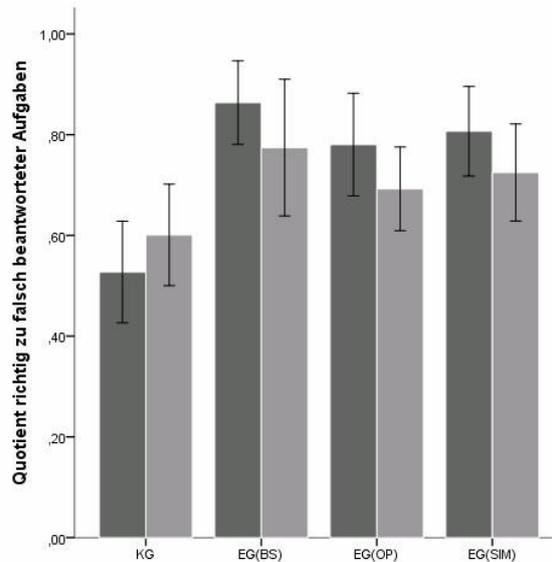


Abb. 27: Lösungsqualität der Lokalisationsaufgaben (jeweils linker Balken VR_{alt}, jeweils rechter Balken VR_{neu}).

In den Ergebnissen (Tab. 16 und 17) spiegelt sich eine höhere Lösungsgüte aller Experimentalgruppen wider, wenn auch für die Nutzer des Operatorenwerkzeuges nur als Trend. Die Daten von der Vergleichsreihe erzeugen ähnliche Resultate. Hier lokalisieren im Schnitt alle Toolnutzer bedeutend mehr Bauteile der Anlage richtig als die Kontrollgruppe. Diese Ähnlichkeit der beiden Versuchsreihen bildet sich auch in den inferenz-statistischen Vergleichsmaßen ab.

Tab. 16: Lösungsgüte der Lokalisationsaufgaben - Mittelwert und Standardabweichung, Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Haupteffekte innerhalb der Versuchsreihen (Intra VR) und zwischen den Versuchsreihen (Inter VR).

		VG				Intra VR		Inter VR	
		KG	EG _{BS}	EG _{OP}	EG _{SIM}	TG	Sig EG	TG	Sig EG
		M (SD)	M (SD)	M (SD)	M (SD)				
Lösungsgüte der Lokalisationsaufgaben	VR _{neu}	0.60 (0.24)	0.77 (0.22)	0.69 (0.22)	0.72 (0.21)	F(3) = 2.04	p = .06 η ² = .07	F(3) = 1.39	p = .25 η ² = .03
	VR _{alt}	0.53 (0.22)	0.86 (0.12)	0.78 (0.1)	0.81 (0.17)	F(3) = 12.06	p < .01 η ² = .42		

Tab. 17: Lösungsgüte der Lokalisationsaufgaben - Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Kontrasteffekte innerhalb der Versuchsreihen (Intra VR) und zwischen den Versuchsreihen (Inter VR).

			Kontraste					
			KG - EG _{BS}		KG - EG _{OP}		KG - EG _{SIM}	
			TG	Sig EG	TG	Sig EG	TG	Sig EG
Lösungsgüte der Lokalisationsaufgaben	Intra VR	VR _{neu}	t(83) = 2.25	p = .01 r = .24	t(83) = 1.49	p = .07 r = .16	t(83) = 1.83	p = .04 r = .2
		VR _{alt}	t(49) = -5.12	p < .01 r = .59	t(49) = -3.12	p < .01 r = .41	t(49) = -4.77	p < .01 r = .56
	Inter VR		F(1) = 2.22	p = .14 η ² = .03	F(1) = 1.85	p = .18 η ² = .02	F(1) = 2.64	p = .11 η ² = .03

Entgegen der Erwartung profitieren also alle Toolnutzer von ihren jeweiligen Werkzeugen in Bezug auf die Fähigkeit, einzelne Bauteile in der Anlage identifizieren zu können, obwohl die Probanden der EG_{OP} die Systemabbildung hier zum ersten Mal zu sehen bekommen. Erwartet wurde, dass nur Werkzeuge mit einer Systemabbildung ihre Nutzer diesen Aufgabentypus besser bewältigen lassen. Bemerkenswert ist zudem, dass diese Effekte innerhalb der VR_{alt} die höchsten im gesamten Experiment sind. Wipper (2004) begründete dieses Ergebnis mit der oben genannten indirekten Unterstützung von Lernprozessen, die zur sinnvollen Nutzung des Werkzeuges nötig sind. Entsprechend dieser Argumentation, der zufolge das Operatorenwerkzeug neben den Bedienschritten indirekt auch die Topologie fokussiert, wären ähnlich ausgeprägte Ergebnisse der bereits in Abschnitt 6.2.6 genannten topologischen Items des Wissenstests zu erwarten. Dort allerdings erweisen sich die Differenzen zwischen der KG und der EG_{OP} als unbedeutend, die Effektgröße ist nur halb so groß wie bei den anderen beiden Experimentalgruppen.

Dies lässt Zweifel an der Begründung Wippers aufkommen und schafft Raum für alternative Erklärungsansätze. So kann dieser widersprüchliche Befund mit einer differenzierteren Betrachtung des topologischen Wissens der Probanden mit Operatorenwerkzeug durchaus erklärt werden. Entgegen den Versuchspersonen der anderen beiden Experimentalgruppen benötigen die Mitglieder der EG_{OP} lediglich soviel Wissen über den Aufbau der Anlage, um die vorgegebenen Bedienschritte in eine sinnvolle Reihenfolge zu bringen. Dadurch entsteht möglicherweise eine sequenzielle Vorstellung über die Anordnung der Systembestandteile, deren Reihenfolge sich an jener der Bedienschritte orientiert. Zur Beantwortung der Lokalisationsaufgabe reicht es aus, diese Reihenfolge auf die Abbildung zu übertragen und das erfragte Bauteil inferentiell zu bestimmen. In den topologischen Items des Wissenstest werden dagegen weitreichendere Fragen gestellt, die mit dieser Strategie nicht zu beantworten sind.

6.2.8 Prüfung der Hypothesen H1_7a-b

Die Hypothesen H1_7a-b postulieren eine Rangreihe in der Effizienz zur Lösung der Steuerungsaufgabe zwischen den Toolnutzern. Demnach soll die EG_{SIM} die besten Resultate erzielen, die EG_{OP} weniger gute, aber bessere als die EG_{BS} und diese bessere als die Kontrollgruppe. Zu diesem Zweck wird auf die in Abschnitt 6.2.5 bereits berichteten Ergebnisse zur H1_5b zurückgegriffen. Wie bereits dargelegt, erzielen die Nutzer von Operatorentool und Simulation im Trend bzw. signifikant bessere Resultate als die Kontrollgruppe. Ein Ergebnis, das sich ähnlich auch in den Daten von Baartz (2001), Majewski (2002) und Schulz (2003; vgl. Wipper, 2004) widerspiegelt.

Um die in den beiden Hypothesen formulierte Rangreihe vollständig zu falsifizieren, wurden im Zuge der bereits dargestellten Analysen zwei weitere Paarvergleiche zwischen der EG_{BS} und der EG_{OP} sowie der EG_{OP} und der EG_{SIM} berechnet (Tab. 18). Darin erweisen sich innerhalb der aktuellen Versuchsreihe die Nutzer des Beschriftungstools als ähnlich effektiv wie die Probanden mit

Operatorenwerkzeug. Von Letzteren wiederum heben sich die Simulationsnutzer auch nicht wesentlich ab. Exakt das gleiche Bild ergibt die Vergleichsreihe. Die Unterschiede zwischen ihnen sind dementsprechend marginal.

Tab. 18: Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe - Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Kontrasteffekte innerhalb der Versuchsreihen (Intra VR) und zwischen den Versuchsreihen (Inter VR).

			Kontraste					
			KG - EG _{BS}		EG _{BS} - EG _{OP}		EG _{OP} - EG _{SIM}	
			TG	Sig EG	TG	Sig EG	TG	Sig EG
Effizienz bei der Lösung der Steuerungs- aufgabe	Intra VR	VR _{neu}	$t(83) = -0.55$	$p = .29$ $r = .06$	$t(83) = -1.1$	$p = .14$ $r = .12$	$t(83) = 0.51$	$p = .31$ $r = .06$
		VR _{alt}	$U = 87.5$	$p = .17$ $r = .17$	$U = 21$	$p = .12$ $r = .29$	$U = 37$	$p = .21$ $r = .17$
	Inter VR		$F(1) = 0.75$	$p = .39$ $\eta^2 = .01$	$F(1) = 1.25$	$p = .27$ $\eta^2 = .02$	$F(1) = 0.31$	$p = .58$ $\eta^2 < .01$

Im Fazit zeichnet sich die theoriebasierte Rangreihe in den Daten der deskriptiven Statistik deutlich ab. Der Eindruck wird gestützt durch signifikante Haupt- und Kontrasteffekte sowie die deutlich ansteigenden Effektgrößen in den jeweiligen Vergleichen zur Kontrollgruppe. Trotzdem sind die Unterschiede zwischen den Experimentalgruppen entlang dieser Rangreihe jeder für sich genommen gering und statistisch unbedeutend. Besonders die Effektgrößen sprechen in Anbetracht der geringen Stichprobenumfänge jedoch insgesamt für die eingangs geäußerte Vermutung, dass die Güte der Handlungspläne davon abhängt, wie spät im Lernprozess die Werkzeuge angesiedelt sind.

6.2.9 Ergebnisübersicht

Zusammenfassend lässt sich die Forschungsfrage 1 (*Lässt sich generalisieren, dass verschiedenartige computergestützte kognitive Lernwerkzeuge ihre Nutzer spezifisch in tiefere Informationsverarbeitungsaktivitäten involvieren, die sie ohne jene Tools nicht zeigen würden?*) recht eindeutig beantworten. Sowohl die objektiven Verlaufsdaten als auch die Erhebung des Lernzuwachses lassen sich zu Gunsten einer tieferen (spezifischen) Informationsverarbeitung interpretieren. Einzig auf der subjektiven Ebene tiefenorientierter Lernstrategien spiegelt sich dieser Befund nicht wider. In all diesen Punkten gleichen sich die beiden Versuchsreihen auch weitestgehend.

Die zweite Forschungsfrage (*Lässt sich generalisieren, dass solche verschiedenartigen computergestützten kognitiven Lernwerkzeuge somit spezifisch die mentale Modellbildung fördern?*) lässt sich weniger eindeutig beantworten. Allgemein fördern zunächst alle drei Werkzeuge die mentale Modellbildung im Bereich der operativen Kenntnisse, gestützt durch die Befunde dieses Teilbereiches im Wissenstest und der Lokalisationsaufgaben. Hinzu kommen spezifische Effekte, die jedoch nicht immer gemäß den Vorannahmen auftraten. Erwartungsgemäß ist zunächst der Befund, dass sich das topologische Wissen der Versuchspersonen mit Beschriftungstool und Simulation der aktuellen Versuchsreihe deutlich verbesserte, während die dazugehörige Operatorengruppe diesbezüglich nur unge-

nügend durch ihr Werkzeug unterstützt wurde. Nicht so in den Daten der Vorgängerautoren, wo keines der Werkzeuge eine diesbezügliche Wirkung entfaltete. Hinzu kommt, dass die Operatortool- und Simulationsnutzer aus beiden Versuchsreihen zwar wie erwartet am Ende des Lernens über ein bedeutend elaborierteres allgemeines Situationsmodell verfügten, jedoch hoben sich hier die Probanden mit Beschriftungswerkzeug entgegen der Prognose nicht von der Kontrollgruppe ab.

Die erzielten Befunde sind in Tabelle 19 noch einmal zusammengefasst. In der Gesamtbetrachtung lässt sich festhalten, dass sowohl ein globaler Effekt der Toolnutzung als auch die spezifische Wirkung eines jeden Werkzeuges nicht vollständig durch das Versuchssetting nachgewiesen werden konnten. Jedoch überwiegen in beiden Fällen jene Befunde, die für die tiefere Informationsverarbeitung und in der Folge elaboriertere mentale Modelle durch die Werkzeugnutzung sprechen. Hinzu kommt, dass sich die diversen Unterschiede zwischen den beiden Versuchsreihen bis auf drei Teilergebnisse als unbedeutend erweisen, d.h. im Wesentlichen ähneln sich die Daten. Insgesamt können die Befunde von Baartz (2001), Majewski (2002) und Schulz (2003; vgl. Wipper, 2004) somit als erfolgreich bestätigt betrachtet werden. Eingeschränkt wird dieses Ergebnis von den zumeist nur geringen Effektgrößen. Dies gilt auch dann, wenn sich die getesteten Mittelwertsunterschiede trotz der geringen Stichprobenumfänge als signifikant herausstellten.

Tab. 19: Übersicht zu den Ergebnissen der STUDIE I.

<i>Globaler Effekt der Werkzeugnutzung</i>										
Forschungsfrage	Hypothese	Ergebnisse der VR _{neu}			Ergebnisse der VR _{alt}			Übereinstimmung der VR		
		Sig (EG)			Sig (EG)			Sig (EG)		
		EG _{BS}	EG _{OP}	EG _{SIM}	EG _{BS}	EG _{OP}	EG _{SIM}	EG _{BS}	EG _{OP}	EG _{SIM}
F1	H1_1a	- (k)	+ (m)	- (k)	- (k)	- (k)	- (k)	- (k)	+ (k)	- (k)
	H1_3a	+ (g)	+ (m)	+ (m)	- (k)	o (k)	o (k)	- (k)	- (k)	- (k)
	H1_4a	- (k)	- (k)	- (k)	- (k)	- (k)	- (k)	- (k)	- (k)	- (k)
	H1_5a	- (k)	+ (k)	+ (m)	- (k)	+ (k)	- (k)	- (k)	- (k)	- (k)
F2	H1_5b	- (k)	o (k)	+ (m)	- (k)	+ (m)	+ (g)	- (k)	+ (m)	o (k)
	H1_6a	+ (k)	- (k)	+ (k)	- (k)	- (k)	o (k)	- (k)	- (k)	- (k)

<i>Spezifischer Effekt der Werkzeugnutzung</i>										
Forschungsfrage	Hypothese	Ergebnisse der VR _{neu}			Ergebnisse der VR _{alt}			Übereinstimmung der VR		
		Sig (EG)			Sig (EG)			Sig (EG)		
		EG _{BS}	EG _{OP}	EG _{SIM}	EG _{BS}	EG _{OP}	EG _{SIM}	EG _{BS}	EG _{OP}	EG _{SIM}
F1	H1_2a-c		+ (m) ¹			o (m) ¹			+ (k) ¹	
	H1_6b-c	+ (k)	+ (k)	+ (m)	- (k)	+ (m)	+ (k)	+ (m)	- (k)	- (k)
	H1_6d-e	+ (k)	o (k)	+ (k)	+ (g)	+ (m)	+ (g)	- (k)	- (k)	- (k)
F2	H1_7a-b	- (k)	- (k)	- (k)	- (k)	- (k)	- (k)	- (k)	- (k)	- (k)

Anmerkungen: Weiße Felder = hypothesenkonformes Ergebnis, Graue Felder = hypothesenkonformes Ergebnis.

+ = signifikantes Ergebnis, o = Trend, - = nicht signifikantes Ergebnis

¹ Globaleffekt über alle drei Experimentalgruppen.

STUDIE II

Wirkungsanalyse eines kombinierten kognitiven
Lernwerkzeugs

7 Fragestellung & Untersuchungsansatz STUDIE II

In der vorangegangenen Studie ist es zum Großteil gelungen, die lernförderliche Wirkung von drei verschieden gestalteten computergestützten kognitiven Lernwerkzeugen empirisch zu generalisieren. Es zeigte sich erneut, dass sie alle in der Lage sind, ihre Nutzer in tiefere Informationsverarbeitungsaktivitäten zu verwickeln, die sie ohne die Tools nicht zeigen würden: Die Mehrheit der betreffenden Probanden nutzte die Tools und sie taten es zusätzlich zu Papier & Bleistift. Dies resultierte in einem elaborierteren, vollständigeren mentalen Modell über den Lerngegenstand: Alle Versuchspersonen mit einem digitalen Lernwerkzeug verfügten über größeres, zusammenhängendes Faktenwissen, konnten mehr Teile der Anlage richtig benennen und sie zudem besser bedienen als Versuchspersonen ohne eine solche Unterstützung.

Es zeigte sich auch, dass die Werkzeuge wie erwartet unterschiedlich genutzt werden und wirken. Da sie jeweils einen spezifischen Schritt im zugrunde liegenden Lernmodell (de Kler & Brown, 1983; Kieras, 1988) unterstützen sollen, wurden sie so konstruiert, dass es zu einer Aufmerksamkeitslenkung in Richtung der jeweils betreffenden Sachverhalte kommen sollte. Diese Erwartung wurde in der vorangegangenen Studie größtenteils bestätigt: So nutzten die Probanden ihr Tool zu tendenziell unterschiedlichen Zeitpunkten im Lernprozess, verfügten am Ende über verschieden ausgeprägtes topologisches und operatives Faktenwissen und konnten die Anlage tendenziell in unterschiedlicher Güte bedienen.

Als Konsequenz dieser Befundlage ergibt sich die Frage, wie sich die spezifischen Eigenschaften der einzelnen Hilfsmittel für Instruktionszwecke nutzen lässt, ohne gleichzeitig den Lernenden einseitig auf werkzeugabhängige Informationen zu fokussieren. Eine Lösung dieses Dilemmas könnte in einer multipel angereicherten Lernumgebung liegen. Mit Hilfe einer Kombination der verschiedenen Lernwerkzeuge ließe sich idealerweise sowohl auf mehreren Wegen tiefere Informationsverarbeitung anregen als auch die fokussierende Wirkung der Einzeltools ausgleichen. Ob diese Erwartungen einer empirischen Überprüfung standhalten, wird in der Literatur zwar angenommen (bspw. Land, 2000), war aber nach Kenntnis des Autors in dieser Form bisher nicht Gegenstand experimenteller Forschung. Die entsprechende Forschungsfrage in der STUDIE II lautet:

F(3): Ist es möglich, den Lernprozess durch eine Kombination verschiedenartig gestalteter computergestützter kognitiver Lernwerkzeuge so zu beeinflussen, dass die mentale Modellbildung umfassend befördert wird?

Diese Forschungsfrage soll analog zur STUDIE I mittels Hypothesen in die gleichen Teilfacetten zerlegt werden. Zu Beginn soll geprüft werden, ob auch das kombinierte digitale Werkzeug zusätzlich zu anderen generativen Lernaktivitäten genutzt wird:

H2_1: Die Verwendung des kombinierten computergestützten Lernwerkzeuges erfolgt zusätzlich zu anderen generativen Lernaktivitäten.

Im Anschluss sollen innerhalb des kombinierten Lernwerkzeuges erneut die zeitlichen Nutzungscharakteristiken betrachtet werden. Auch hier gilt, dass Jedes Tool einen Schritt in der Theorie der mentalen Modellbildung technischer Systeme (de Kleer & Brown, 1983; Kieras, 1988; siehe Abb. 4) unterstützt. Dies müsste sich im Nutzungsverlauf der drei Teilapplikationen des Werkzeugs widerspiegeln:

H2_2: Die einzelnen Teilapplikationen des computergestützten Lernwerkzeugs werden zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Lernprozess verwendet.

Analog zu den singulären Lernwerkzeugen sollten auch im vorliegenden Fall die zusätzlichen Aktivitäten der Probanden zu tieferer Informationsverarbeitung führen, was sich in mehr übergeordneten Sinneinheiten (Makropropositionen) manifestiert:

H2_3: Die Verwendung des kombinierten computergestützten Lernwerkzeugs unterstützt die Bildung von Makropropositionen.

In Bezug auf die selbstberichteten Lernstrategien als subjektives Maß eines veränderten Lernprozesses sprechen die Daten der STUDIE I zunächst gegen die Annahme, dass der höhere Wissenserwerb mit einem ausgeprägterem tiefenorientierten Lernverhalten zu erklären ist. Als wahrscheinlichster Grund kommt die ungenügende Möglichkeit zur Selbstbeobachtung solchen Verhaltens in Frage (Wernke, 2009). Durch das kombinierte Lernwerkzeug ergeben sich jedoch weit mehr Möglichkeiten, das eigene strategische Vorgehen zu beobachten - nicht nur wegen der höheren Anzahl einzelner Tools, sondern auch wegen der zu erwartenden weit längeren Dauer des Gesamtlernprozesses. Dadurch eröffnet sich die Chance auf eine größere Zugänglichkeit, die sich im Idealfall in den Daten niederschlägt. Von daher bleibt die Annahme bestehen, dass sich die Werkzeugnutzung in veränderten Lernstrategien niederschlägt, die durch die Versuchspersonen auch selbst bemerkt werden:

H2_4: Die Verwendung des kombinierten computergestützten Lernwerkzeugs führt zu mehr tiefenorientierten Lernstrategien.

Wendet man sich vom Verlauf ab und dem Lernerfolg zu, so steht in Anbetracht aller bislang vorliegenden Befunde zu erwarten, dass das Situationsmodell der Nutzer des kombinierten Tools über das technische System weit elaborierter sein wird als jenes der Kontrollgruppe:

H2_5: Die Verwendung des kombinierten computergestützten Lernwerkzeugs führt zu einem elaborierteren mentalen Modell über den Lerngegenstand.

Da das kombinierte digitale Lernwerkzeug mit seinen drei Teilapplikationen alle Stufen in der Theorie von de Kleer & Brown (1983) und Kieras (1988) abdeckt, sollten sich die fokussierenden Effekte gegenseitig ausgleichen. In der Folge wird erwartet, dass das mentale Modell am Ende des

Lernens in allen erhobenen inhaltlichen Teilfacetten ausgeglichen ist:

H2_6: Das kombinierte computergestützte Lernwerkzeug fördert alle erhobenen inhaltlichen Teilaspekte des mentalen Modells über den Lerngegenstand gleichermaßen.

Zur Beantwortung dieser Hypothesen werden im nachfolgend dargestellten Versuchssetting Probanden innerhalb einer Lernumgebung, die sich an jener der vorangegangenen Experimente orientiert, alle drei in STUDIE I beschriebenen Lernwerkzeuge zum Gebrauch angeboten.

8 Methodik der STUDIE II

Die gesamte Lern- und Testumgebung ist bis auf die nachfolgend beschriebenen Unterschiede mit jener aus der STUDIE I identisch, d.h. das (quasi)experimentelle Design, der Versuchsablauf, der Lerngegenstand, die Lernbedingungen und -materialien sowie die Art der Testung (siehe Kapitel 5) sind exakt gleich. Die anschließenden Ausführungen beschränken sich von daher auf eine Beschreibung der Stichprobe und des kombinierten Lernwerkzeuges sowie die erneute Operationalisierung der Hypothesen.

8.1 Stichprobe

Es wurden $N = 98$ Probanden für die Experimentalgruppe mit kombiniertem Tool (EG_{KB}) akquiriert. Die Stichprobe besteht aus 70 Frauen (71%) und 28 Männern (29%). Das Durchschnittsalter beträgt 23,6 Jahre ($SD = 6,4$). Die überwiegende Mehrheit der Probanden (96%) verfügt mindestens über das Abitur. Sie erhielten als Entlohnung entweder einen Nachweis ihrer Versuchsteilnahme oder eine angemessene finanzielle Aufwandsentschädigung.

8.2 Kombiniertes Lernwerkzeug

Als Besonderheit dieser Forschungsarbeit wurde neben den oben beschriebenen singulären Werkzeugen eine Kombination aus ihnen entworfen. Im Wesentlichen bedeutet dies, dass die Versuchspersonen über die gleiche Systemoberfläche wie bei den anderen Probanden auf eines der drei singulären Tools zurückgreifen können. Häufigkeit und Reihenfolge der Toolnutzung stehen ihnen dabei völlig frei. Werkzeugkombinationen sind in der Literatur unter dem Begriff *hybrid tools* oder *hypermedia learning environments* anzutreffen. Darin übernehmen die verschiedenen Applikationen für sie passende Aufgaben. Zum Beispiel kann ein Hypertext als Informationsgrundlage dienen, während eine Simulation einzelne Aspekte des zu lernenden Inhaltes zu verstehen hilft. Selbst analoge Lernhilfen wie klassische Tutoren können eingebunden werden. Iiyoshi et al. (2005) gehen sogar noch einen Schritt weiter und schlagen vor, Lernenden die Möglichkeit zu eröffnen, sich individuell gestaltete Lernumgebungen aus einer Art Baukasten - bestehend aus ganzen Werkzeugen oder nur einzelnen Funktionalitäten - zu erstellen.

Hybride Werkzeuge finden sich in der instruktionspsychologischen Forschungslandschaft recht selten. Kombiniert werden in der Regel eine Informationsbasis - in Form von (Hyper-)Texten, Audios oder Videos - mit diversen Erklärungshilfen - bspw. Simulationen oder Animationen - sowie Möglichkeiten zur Wissensrepräsentation - durch virtuelle Notizblöcke und Taschenrechner, Assistenten für Präsentationen oder Formulare (Brickell, Ferry & Harper, 2003; Iiyoshi & Hannafin, 1998; Interactive Multimedia Learning Laboratory, 1996; Lajoie, 1993; Linn, Clark & Slotta, 2003; Liu, Williams &

Pedersen, 2002). Die Auswahl der Tools erfolgt meist entsprechend eines instruktionspsychologischen (Liu & Bera, 2005) oder kognitionswissenschaftlichen Modells (Brickell et al., 2003; Iiyoshi & Hannafin, 1996). Trotz der Verwendung von Computern als Lernumgebung, was naturgegeben zu einem Satz objektiver Daten (log-files) führt, beschränken sich einige Autoren auf ausschließlich qualitative Auswertungen (Brickell et al., 2003; Iiyoshi & Hannafin, 1998).

Eine groß angelegte empirische Studienreihe der University of Texas (Austin) nutzt das kombinierte Lernwerkzeug *Alien Rescue*¹⁷. Im Kontext einer Rettung Außerirdischer werden Schüler der sechsten Klassenstufe dazu animiert, mit Hilfe einer Multimedia-Anwendung basale Prinzipien unseres Sonnensystems zu erkunden. Zur Auswahl stehen hier neben umfangreichen Texten und Videos eine editierbare Datenbank, ein Notizenwerkzeug sowie verschiedenartige Simulationen. In den Ergebnissen zeigt sich ein genereller Lerneffekt (Li, 2005), der jedoch stark von der zeitlichen Abfolge der Toolnutzung abhing (Liu & Bera, 2005; siehe Abschnitt 3.4).

Einen ähnlichen Weg beschritt Lajoie (1993) mit ihrer Lernsoftware *BioWorld*. Das Lernwerkzeug wird erfolgreich verwendet, um Studenten medizinischer Studiengänge anatomisches Wissen und diagnostische Kompetenz in Form von Fallstudien zu vermitteln (Faremo, 2004). Neben umfangreichen Texten und einer Online-Datenbank können als weitere Anwendungen eine Art Notizenwerkzeug, eine Selbstbeurteilungsfunktion sowie eine Simulation genutzt werden. Der Lernerfolg wurde durch eine Gegenüberstellung der Studentenmeinung mit einer Experteneinschätzung bzgl. fallspezifischer Diagnosen erhoben. Die Ergebnisse zeigen u.a., dass der adäquate Gebrauch der Lernsoftware zu signifikant ähnlichen Novizen- und Expertendiagnosen führt. Dieses Ergebnis bestätigte sich in einer Selbsteinschätzung der Studenten, für wie zuverlässig sie ihre Diagnose vor und nach dem Toolgebrauch betrachten. Interessanterweise korrelierte dieser Index auch signifikant mit den Ergebnissen zum Lernerfolg, d.h. die Studenten konnten sehr gut die Höhe ihres Lernerfolges mit Hilfe des Lernwerkzeuges bewerten (Lajoie et al., 2001).

Einschränkend muss erwähnt werden, dass es in allen Studien an einer differenzierten Analyse der lernförderlichen Wirkung der einzelnen Applikationen fehlt. Es werden lediglich Gesamteffekte der Toolnutzung berichtet. Von daher sind die so getroffenen Aussagen über die Wirksamkeit der Lernumgebung stets limitiert und lassen keine Rückschlüsse auf den Bedeutung einzelner Gestaltungslösungen zu.

Innerhalb der vorliegenden Studie wurde ein kombiniertes Tool entworfen, das alle Funktionalitäten der in Abschnitt 5.4 beschriebenen drei Werkzeuge in sich vereint. Die hier verwendeten Applikationen sind mit den singulären Tools aus STUDIE I in Aufbau und Bedienung absolut identisch. Es ändert sich lediglich die Anzahl der Schaltflächen in der am unteren Bildschirmrand angelegten Symbolleiste, mit deren Hilfe ein jedes der Tools separat angesteuert werden kann. Eine simultane Darstellung ist nicht möglich. Darüber hinaus sind die Werkzeuge nicht interdependent, d.h. Bedienoperatio-

¹⁷ Zu finden unter <http://alienrescue.edb.utexas.edu>.

nen an einer Applikation haben keinen Einfluss auf die dargestellten Inhalte der anderen.

8.3 Operationalisierte Hypothesen

Zur Bewertung der Hypothesen wird auf die gleiche Weise wie in STUDIE I verfahren. Anfangs soll anhand der Zeitdaten die H2_1 (*Die Verwendung des kombinierten computergestützten Lernwerkzeuges erfolgt zusätzlich zu anderen generativen Lernaktivitäten.*) geprüft werden. Es wird auch hier erwartet, dass der Gebrauch des digitalen Werkzeuges nicht zu Lasten der konventionellen Hilfsmittel geht. Zu diesem Zweck wird die Zeit für das Anfertigen von Aufzeichnungen betrachtet, die im Falle der Experimentalgruppe nicht kürzer sein sollte als innerhalb der Kontrollgruppe:

H2_1a: Die Dauer des Anfertigens von Aufzeichnungen innerhalb der Experimentalgruppe mit kombiniertem Werkzeug ist nicht kürzer als innerhalb der Kontrollgruppe.

In Bezug auf die zeitliche Toolnutzungscharakteristik gelten die gleichen Annahmen, wie sie in Abschnitt 5.7 bereits hergeleitet wurden. Auf Grund der sequentiellen Abfolge des Lernens in der Theorie der mentalen Modellbildung technischer Systeme (de Kleer & Brown, 1983; Kieras, 1988) wird im Rahmen der H2_2 (*Die einzelnen Teilapplikationen des computergestützten Lernwerkzeugs werden zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Lernprozess verwendet.*) erneut erwartet, dass die Beschriftungsapplikation überwiegend früher zum Einsatz kommt als die Operatorenapplikation und diese eher als die Simulation:

H2_2a: Die überwiegende Nutzung der Beschriftungsapplikation erfolgt früher als die der Operatorenapplikation und der Simulation.

H2_2b: Die überwiegende Nutzung der Operatorenapplikation erfolgt später als die der Beschriftungsapplikation und früher als die der Simulation.

H2_2c: Die überwiegende Nutzung der Simulation erfolgt später als die der Beschriftungs- und Operatorenapplikation.

Da in STUDIE II alle drei Teilwerkzeuge frei wählbar durch Probanden genutzt werden können, lässt sich bzgl. der Toolnutzungscharakteristik zusätzlich untersuchen, ob die Reihenfolge ihres Gebrauchs eine erfolgsrelevante Rolle spielt. Es wird angenommen, dass sich Versuchspersonen, welche die Applikationen des kombinierten Tools im Sinne des Lernmodells (de Kleer & Brown, 1983; Kieras, 1988) nutzen, durch ein elaborierteres mentales Modell im Verhältnis zu jenen Probanden auszeichnen, die dies nicht tun. Neben der theoretischen Begründung stützen ähnliche Ergebnisse aus den Untersuchungen von Liu & Bera (2005; Liu et al., 2009) eine solche Annahme (siehe Abschnitt 3.4). Um die These zu falsifizieren, wird das Profil der zeitlichen Werkzeugverwendung in Form eines Konformitätsmaßes (V14) dem globalen Lernerfolg (vgl. H2_5a-b) gegenübergestellt. Der resultierende Hypothesenkomplex lautet:

H2_2d: Probanden mit einer modellkonformen zeitlichen Toolnutzung beantworten mehr Items des Wissenstests richtig als jene, die die Teilwerkzeuge modellnonkonform gebrauchen.

H2_2e: Probanden mit einer modellkonformen zeitlichen Toolnutzung zeigen eine bessere Steuerungsleistung als jene, die die Teilwerkzeuge modellnonkonform gebrauchen.

VI4 Modellkonformität: Ein modellkonformes Nutzungsprofil liegt vor, wenn die höchste relative Anzahl an Aktivitäten am Beschriftungswerkzeug vor der höchsten relativen Anzahl am Operatortool und diese vor der höchsten relativen Anzahl an der Simulation liegt. Die Variable ist dichotom, d.h. eine Versuchsperson gilt entweder als modellkonform oder als nonkonform.

Als weiteres Maß für die Initiierung erweiterter kognitiver Prozesse werden als Lernerfolgskriterium wieder die Items des Wissenstests verwendet, welche ausschließlich Makropropositionen erfassen. Im Rahmen der H2_3 (*Die Verwendung des kombinierten computergestützten Lernwerkzeugs unterstützt die Bildung von Makropropositionen.*) wird auch hier erwartet, dass die Probanden der Experimentalgruppe gegenüber der Kontrollstichprobe vermehrt Items dieses Typs richtig beantworten können. Da beim kombinierten Tool alle drei singulären Anwendungen aus STUDIE I repräsentiert sind, sollte seine Wirkung zudem nicht hinter jener der Einzelwerkzeuge zurückfallen. In der Folge dürfte der Effekt der Toolnutzung auf die Makropropositionen nicht kleiner sein als bei einer der Experimentalgruppen mit singulärem Werkzeug. Diese Einschränkung der Hypothese ist deswegen nötig, weil das kombinierte Werkzeug sehr viel mehr Aufwand im Erlernen seiner Bedienung und der anschließenden Verwendung erfordert. Sollten die Leistungen seiner Nutzer auf Grund von interferierenden Effekten oder einer zu hohen mentalen Belastung hinter denen eines singulären Tools zurückfallen, wäre der ausschließliche Einsatz einer der Einzelapplikationen die bessere Wahl:

H2_3a: Probanden der Experimentalgruppe mit kombiniertem Werkzeug beantworten mehr Items des Wissenstest zu Makropropositionen korrekt als die der Kontrollgruppe und nicht weniger als jene der Experimentalgruppen mit singulärem Werkzeug.

Zur Bewertung der H2_4 (*Die Verwendung des kombinierten computergestützten Lernwerkzeugs führt zu mehr tiefenorientierten Lernstrategien.*) werden noch einmal die retrospektiv berichteten Lernstrategien herangezogen. Es wird erwartet, dass sich solche lernförderlichen mentalen Aktivitäten in Form veränderter Lernstrategien manifestieren. Hier sollte sich zeigen, dass die Nutzer des kombinierten Tools Items des Fragebogens zu selbstberichteten Tiefenstrategien höher bewerten als die Kontrollgruppe und nicht geringer als die Nutzer der Einzelwerkzeuge:

H2_4a: Probanden der Experimentalgruppe mit kombiniertem Werkzeug bewerten die Items des Fragebogens zu selbstberichteten Tiefenstrategien beim Lernen höher als die der Kontrollgruppe und nicht geringer als jene der Experimentalgruppen mit singulärem Werkzeug.

Zur weiteren Beantwortung der dritten Forschungsfrage werden im Folgenden wieder Maße des Lernerfolgs herangezogen, um die Wirkung des kombinierten Lernwerkzeuges auf die mentale Modellbildung abzuschätzen. Zu Beginn wird im Rahmen der H2_5 (*Die Verwendung des kombinierten*

computergestützten Lernwerkzeugs führt zu einem elaborierteren mentalen Modell über den Lerngegenstand.) die Güte der erlernten Informationen über das technische System erneut durch den Wissenstest und die Steuerungsaufgabe erhoben. In Erwartung einer ebenfalls prinzipiell förderlichen Wirkung des Tools wird die Erwartung formuliert, dass sich die Güte der mentalen Modelle dieser Probanden gegenüber jenen der Kontrollgruppe bedeutend verbessern und im Vergleich zu den anderen Experimentalgruppen nicht verschlechtern wird. Dies gilt insbesondere für die Systemsteuerung, da sich den Werkzeugnutzern jetzt die Möglichkeit eröffnet, alle drei von de Kleer & Brown (1983) und Kieras (1988) postulierten Teilschritte in der mentalen Modellbildung vollständig zu durchlaufen, wodurch am Ende ein hoch-viabler Handlungsplan resultieren sollte:

H2_5a: Probanden der Experimentalgruppe mit kombiniertem Werkzeug beantworten mehr Items des Wissenstests korrekt als die der Kontrollgruppe und nicht weniger als jene der Experimentalgruppen mit singulärem Werkzeug.

H2_5b: Probanden der Experimentalgruppe mit kombiniertem Werkzeug zeigen eine höhere Effizienz in der Systemsteuerung als die der Kontrollgruppe und keine geringere als jene der Experimentalgruppen mit singulärem Werkzeug.

Wenn die drei Applikationen des kombinierten Werkzeuges gleichermaßen eine Wirkung beim Lernenden entfalten, sollte sich dies in einem ausgeglichenen Wissenszuwachs über alle erhobenen inhaltlichen Teilbereiche des mentalen Modells hinweg niederschlagen. Um die entsprechende H2_6 (*Das kombinierte computergestützten Lernwerkzeug fördert alle inhaltlichen Teilaspekte des mentalen Modells über den Lerngegenstand gleichermaßen.*) zu prüfen, werden zunächst erneut die beiden Inhaltsklassen *Topologie* und *Operatoren* des Wissenstests betrachtet. Unter der Annahme eines vergleichbaren lernförderlichen Potentials der Teilapplikationen wird erwartet, dass es nun zu keinem einseitigen Wissenserwerb mehr kommt. Dies sollte sich in einer größeren Anzahl richtig beantworteter Items in beiden Teilbereichen des Wissenstest gegenüber der Kontrollgruppe niederschlagen, die zudem nicht geringer ist als im Falle der Einzelwerkzeuge:

H2_6a: Probanden der Experimentalgruppe mit kombiniertem Werkzeug beantworten mehr Items mit topologischen Informationen korrekt als die der Kontrollgruppe und nicht weniger als jene der Experimentalgruppen mit singulärem Werkzeug.

H2_6b: Probanden der Experimentalgruppe mit kombiniertem Werkzeug beantworten mehr Items mit operativen Informationen korrekt als die der Kontrollgruppe und nicht weniger als jene der Experimentalgruppen mit singulärem Werkzeug.

Ähnlich ist die Erwartung in Bezug auf die Lösungsgüte der Lokalisationsaufgaben. Auch hier sollte die Nutzung der drei Teilapplikationen, von denen zwei eine Systemabbildung als Grundlage verwenden, dazu führen, dass die Probanden diese Aufgaben besser bewältigen als die Kontrollgruppe und nicht schlechter als eine der Experimentalgruppen mit singulärem Werkzeug:

H2_6c: Probanden der Experimentalgruppe mit kombiniertem Werkzeug lösen mehr Lokalisationsaufgaben korrekt als die der Kontrollgruppe und nicht weniger als jene der Experimentalgruppen mit singulärem Werkzeug.

9 Ergebnisse der STUDIE II

Das folgende Kapitel enthält analog zur STUDIE I die ermittelten Ergebnisse. Neben Mittelwerten und Standardabweichungen werden die Testgrößen und die exakten Wahrscheinlichkeiten berichtet. Darüber hinaus sind die jeweiligen Effektgrößen angegeben. Weiterhin finden sich im Anhang die entsprechenden Voraussetzungstests, Teststärken und im Text genannte Tabellen.

9.1 Vergleichbarkeit der Versuchsgruppen

9.1.1 Selektion der Stichproben

90 Probanden (92%) aus der Experimentalgruppe nutzte das kombinierte Tool. Von denen gebrauchten 14 (14%) nur eine Applikation, 39 Teilnehmer (40 %) verwendeten zwei Teilwerkzeuge und 37 (38 %) Personen nutzten alle drei verfügbaren Lernhilfen. Nimmt man eine minimale Toolnutzungsqualität von .3 in allen Applikationen als weiteres Selektionskriterium hinzu (siehe Abschnitt 6.1.1), ergibt sich für die Experimentalgruppe eine bereinigte Stichprobe von $N = 16$ (17%). Unter Einschluss der Kontrollgruppe ($N = 24$) sowie der selektierten Experimentalgruppen mit singulärem Lernwerkzeug ($N_{BS} = 13$, $N_{OP} = 30$, $N_{SIM} = 20$) resultiert im Fazit eine bereinigte Gesamtstichprobe von $N = 103$. Von allen Versuchspersonen liegen auch hier alle Daten vor, weshalb in jeder der nachfolgenden Berechnungen die Stichprobenumfänge gleich sind.

Die durchschnittliche Güte der Werkzeugnutzung durch die Probanden der Experimentalgruppe lag bei $M = 0.72$ ($SD = 0.15$). In den einzelnen Applikationen unterscheiden sich die Probanden in ihrer jeweiligen Toolnutzungsqualität nur unbedeutend von einander, $F(2) = 0.52$, $p = .6$, $\eta^2 = .02$. Den höchsten Wert erzielten sie mit der Beschriftungsfunktion ($M = 0.76$, $SD = 0.2$), gefolgt von der Operatorenapplikation ($M = 0.7$, $SD = 0.22$) und der Simulation ($M = 0.69$, $SD = 0.22$).

Die Nutzungsdaten der Experimentalgruppe mit kombiniertem Tool sind insgesamt ernüchternd. Zwar gelten fast alle Versuchspersonen als Toolnutzer, jedoch gebrauchte lediglich ein knappes Drittel der Probanden alle drei Applikationen und nur die Hälfte derer verwendete sie in einem ausreichenden Qualitätsmaß. Dies lässt sich im Sinne Lockwoods (1992; siehe Abschnitt 3.4) so interpretieren, dass für die meisten Probanden der Gewinn aller drei Applikationen für den Lernerfolg in keinem Verhältnis zu ihrem Bedienungsaufwand stand.

9.1.2 Demographische Daten & Kontrollvariablen

Im Folgenden werden die fünf Versuchsgruppen auf ihre Vergleichbarkeit hin untersucht. Die Tabelle 20 zeigt die gesamte deskriptive Statistik des Alters, des Geschlechts sowie der betreffenden Skalen des Motivationsfragebogens und der Vorerfahrung.

Tab. 20: Deskriptive Statistik der Demographie- und Kontrollvariablen - Mittelwert & Standardabweichung bzw. Modalwert bzw. Binominalverteilung.

	KG <i>M (SD)</i>	EG _{BS} <i>M (SD)</i>	EG _{OP} <i>M (SD)</i>	EG _{SIM} <i>M (SD)</i>	EG _{KB} <i>M (SD)</i>
Alter	25.33 (4.59)	24.38 (5.98)	24.27 (3.56)	26.75 (7.94)	20.69 (2.33)
PC-Kenntnisse	2.71 (1.04)	2.08 (0.86)	2.33 (0.76)	2.75 (1.16)	2.56 (0.63)
Erfahrung mit Lernprogrammen	1.04 (0.69)	0.85 (0.9)	0.67 (0.71)	0.7 (0.66)	0.81 (0.66)
Erfolgserwartung	4.42 (1.11)	4.37 (0.93)	3.74 (0.85)	4.66 (0.83)	3.97 (0.93)
Misserfolgsanreiz	1.48 (1.2)	1.98 (0.96)	2.47 (1.01)	1.91 (1.25)	2.19 (1.12)
Interesse	2.7 (0.96)	3.02 (0.75)	2.93 (1.14)	3.46 (1.06)	3.06 (1.49)
Herausforderung	3.72 (1.13)	3.85 (1.09)	3.83 (0.94)	3.96 (1)	3.89 (0.93)
	<i>Mod</i>	<i>Mod</i>	<i>Mod</i>	<i>Mod</i>	<i>Mod</i>
Zeit am Computer	5	4	5	5	5
	<i>weibl. / männ.</i>	<i>weibl. / männ.</i>	<i>weibl. / männ.</i>	<i>weibl. / männ.</i>	<i>weibl. / männ.</i>
Geschlecht	9 / 15	8 / 12	15 / 15	9 / 4	11 / 5

In Bezug auf das Alter unterschieden sich die Probanden signifikant von einander, $F(4) = 3.29$, $p = .01$, $\eta^2 = .12$. Dies gilt nicht für die Verteilung der Geschlechter, $\chi^2(4) = 6.02$, $p = .2$, $V = .08$. Aus den post hoc errechneten Zusammenhangsmaßen in Tabelle D geht hervor, dass das Alter vor allem im negativen Zusammenhang mit den Maßen der Toolnutzung steht, der Ausbildung von Makropropositionen sowie den Leistungen bei der Bearbeitung der Handlungsaufgaben.

Die Unterschiede in der Vorerfahrung bzgl. computerbasierten Lernens sind in allen drei Facetten Computerkenntnisse ($H(4) = 7.56$, $p = .11$, $r = .13$), Zeit am Computer ($H(4) = 3.48$, $p = .48$, $r < .01$) und Erfahrungen mit Lernprogrammen ($H(4) = 4.23$, $p = .38$, $r = .03$) unbedeutend. Das gleiche gilt für die beiden Facetten Interesse ($F(4) = 1.21$, $p = .31$, $\eta^2 = .05$) und Herausforderungen ($F(4) = 0.14$, $p = .97$, $\eta^2 = .01$) der Eingangsmotivation. In den beiden Teilkonstrukten Erfolgserwartungen ($F(4) = 3.63$, $p = .01$, $\eta^2 = .13$) und Misserfolgsanreiz ($F(4) = 3.49$, $p = .01$, $\eta^2 = .13$) sind die Probandengruppen dagegen nicht vergleichbar. Die Erfolgserwartung hat jedoch keinen bedeutenden Einfluss auf eine der Testvariablen, der Misserfolgsanreiz lediglich auf die Ergebnisse des Lernstrategiefragebogens (siehe Tabelle D).

Betrachtet man sich gesamthaft die Ergebnisse aller Variablen zur Vergleichbarkeit der Versuchspersonen, so lassen sich - bis auf das Alter - nur unbedeutende Unterschiede zwischen den Stichproben feststellen.

9.2 Prüfung der operationalisierten Hypothesen

Analog zur STUDIE I werden erneut jeweils zu Beginn die Werte der deskriptiven Statistik berichtet. Danach folgt ihre inferenz-statistische Beurteilung. Für alle Paar-Vergleiche werden t -Tests verwendet.

9.2.1 Prüfung der Hypothese H2_1a

In der gerichteten Hypothese H2_1a wird angenommen, dass auch die Nutzung des kombinierten Werkzeugs nicht zu Lasten der Verwendung von Papier & Bleistift geht. Dies sollte sich darin zeigen, dass die Zeit für das Anfertigen von Aufzeichnungen innerhalb der Experimentalgruppe mit kombiniertem Werkzeug nicht kürzer ist als in der Kontrollgruppe. Zudem wird erwartet, dass es zu keinen geringeren Aktivitäten an diesen konventionellen Hilfsmitteln als in einer der Experimentalgruppen mit singulärem Werkzeug kommt. Aus der Abbildung 28 geht hervor, dass die Nutzer des kombinierten Werkzeuges deutlich länger Papier & Bleistift nutzten als die Kontrollgruppe und die EG_{BS} bzw. EG_{SIM}. Einzig die Probanden mit Operatorenwerkzeug notierten sich noch länger Informationen handschriftlich.

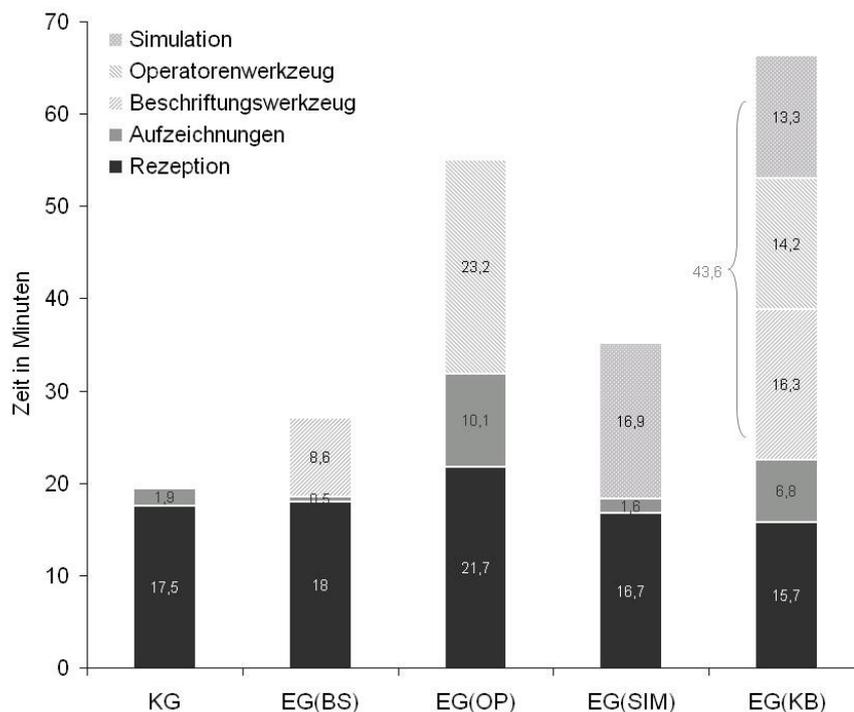


Abb. 28: Dauer für die Rezeption von Information, das Anfertigen von Aufzeichnungen und die Toolnutzung.

In dem relevanten Paarvergleich unterscheidet sich die EG_{KB} und die Kontrollgruppe sehr deutlich von einander, $t(38) = -2.98$, $p < .01$, $r = .44$. Während die Probanden der KG durchschnittlich 1.86 Minuten ($SD = 3.3$) für Aufzeichnungen verwendete, waren es unter den Nutzern des kombinierten Werkzeuges 6.82 Minuten ($SD = 7.11$). Hier erfüllt sich die Erwartung, dass das computergestützte Werkzeug zusätzlich zu den konventionellen gebraucht wurde. Dies zeigt sich vor allem darin, dass es in der Experimentalgruppe zu keinen geringeren Zeiten für das Benutzen von Papier & Bleistift in Kombination mit der Toolnutzung kam. Im Gegenteil: Die Zeit für handschriftliche Notizen und Zeichnungen der EG_{KB} lag um das 3 ½ fache höher als in der Vergleichsgruppe. Es kann somit grund-

sätzlich angenommen werden, dass das digitale Tool kognitive Prozesse anregt, die nicht schon durch Papier & Bleistift als konventionelles Hilfsmittel initiiert werden. Dieses Ergebnis gewinnt besonders im Hinblick auf die Substituierbarkeit von digitalem und analogem Werkzeug an Bedeutung. Im Sinne des theoretischen Modells von de Kleer & Brown (1983) und Kieras (1988) gab es mit den drei Teilapplikationen keinen Bedarf mehr an handschriftlichen Aufzeichnungen, da alle Schritte im Lernprozess durch eine computerbasierte Anwendung unterstützt werden. Dennoch wurden sie in großem Umfang erstellt, womit sich eine allgemeine Aktivierung der Lernenden durch das kombinierte Werkzeug feststellen lässt. Bemerkenswert ist darüber hinaus, dass die drei Applikationen in etwa gleich lang (und gleich gut) verwendet wurden. Keines der Teilwerkzeuge beanspruchte demzufolge überproportional viele Ressourcen auf Kosten der anderen.

9.2.2 Prüfung der Hypothese H2_2a-e

Die ersten drei ungerichteten Hypothesen dieses Komplexes H2_2a-c behandeln zunächst die Struktur der zeitlichen Toolnutzungscharakteristik. Darin ist die Erwartung formuliert, dass auch die Applikationen des kombinierten Lernwerkzeuges zu unterschiedlichen Zeitpunkten zum Einsatz kommen, genauer die Beschriftungsfunktion früher als die Operatorenfunktion und diese früher als die Simulation. In Abbildung 29 sind die Nutzungsverläufe für die drei Teilwerkzeuge dargestellt. Je Zeitintervall ist der gemittelte relative Anteil an Toolaktionen abgetragen.

Darin zeigt sich, dass die Beschriftungsfunktion einen zu Beginn steil ansteigenden Nutzungsverlauf besitzt, sein Maximum im vierten Dezil erreicht und danach kontinuierlich abfällt. Die Verlaufskurve der Operatorenfunktion dagegen ist diametral, steigt zunächst stetig an, erreicht den Höhepunkt im achten Zeitabschnitt und fällt danach abrupt ab. Die Simulation wird dagegen im Laufe des Lernens immer häufiger genutzt und erreicht den höchsten Wert erst im letzten Dezil. In der Gesamtbetrachtung ist die Werkzeugnutzung relativ gleichmäßig über die Lernzeit verteilt.

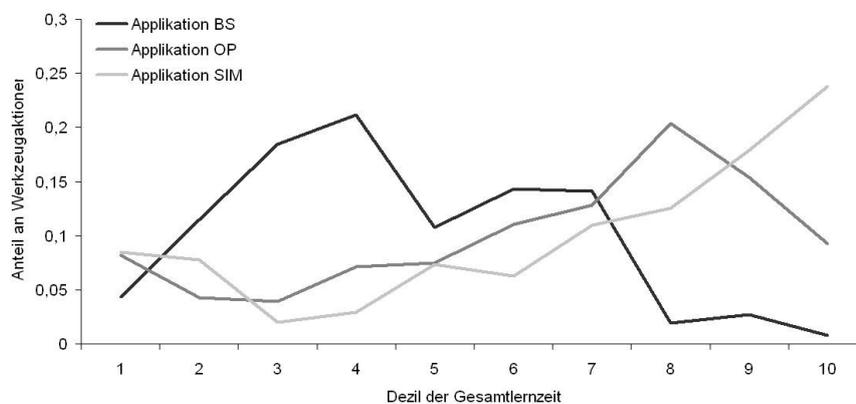


Abb. 29: Zeitlicher Nutzungsverlauf der drei Teilwerkzeuge der EG_{KB}.

Zur inferenz-statistischen Prüfung, ob die Unterschiede in den Zeitverläufen innerhalb der EG_{KB} bedeutsam sind, wurde wieder eine zweiseitig testende ANOVA mit Messwiederholung gerechnet (Faktor Teilwerkzeug). Da die Sphärizitätsannahme verletzt ist ($\chi^2(44) = 104,29, p < .01$), wurden die Freiheitsgrade nach Greenhouse-Geisser korrigiert ($\epsilon = .64$). Im Resultat unterscheiden sich die Tool-nutzungsverläufe innerhalb der EG_{KB} signifikant von einander, $F(11.48, 258.34) = 5.05, p < .01, \eta^2 = .18$. Der zeitliche Nutzungsverlauf unterstützt somit eindrucksvoll die These eines modellkonformen Werkzeuggebrauchs.

Die beiden weiterführenden gerichteten Hypothesen H2_2d-e postulieren, dass sich eine modellkonforme Toolnutzungscharakteristik auf die Lösungsgüte im Wissenstest und in der Steuerungsaufgabe auswirkt. Zur Überprüfung dieser Aussage wurden die Probanden der EG_{KB} entsprechend ihrer Konformität drei gleich großen Teilstichproben zugeordnet: absolut konforme, leicht und stark abweichende Nutzer. Als Kriterium der Abweichung galt die Differenz zwischen dem frühesten und spätesten Intervall (Spannbreite, siehe Tab. C17 im Anhang). Für die nachfolgenden Analysen wurden nur die beiden Extremgruppen der absolut konformen ($N_1 = 5$) und maximal nonkonformen Probanden ($N_2 = 5$) verwendet. Im Resultat beantworteten die Versuchspersonen der N_1 mehr Items im Wissenstest richtig ($M = 0.66, SD = 0.12$) als die Mitglieder der N_2 ($M = 0.52, SD = 0.13$). Die Mittelwertsunterschied erwiesen sich als robuster Trend, $t(8) = 1.7, p = .06, r = .51$. In der Effizienz zur Lösung der Steuerungsaufgabe unterscheiden sich die beiden Teilstichproben ebenfalls deutlich von einander. Auch hier erreichte die N_1 ein weit besseres Ergebnis ($M = 77.85, SD = 12.91$) als die N_2 ($M = 63.8, SD = 20.6$). Die Testgröße unterschreitet aber nicht die Signifikanzschwelle, $t(8) = 1.29, p = .12, r = .41$.

Im Fazit lässt sich festhalten, dass die Nutzung des kombinierten Lernwerkzeuges in der Betrachtung aller Verläufe modellkonform ist und diese Tatsache auch einen sehr bedeutsamen Einfluss auf die mentale Modellbildung hat. Auf Grund der sehr geringen Stichprobenumfänge gelang es jedoch nicht, diesen Effekt trotz der hohen Effektgrößen eindeutig vom Zufall abzugrenzen.

9.2.3 Prüfung der Hypothesen H2_3a

Die Hypothese H2_3a beschreibt in Anlehnung an die STUDIE I die gerichtete Annahme, dass die Probanden der Experimentalgruppe mit kombiniertem Tool bedeutend mehr Makropropositionen während des Lernprozesses gebildet haben als die der Kontrollgruppe und nicht hinter die Ergebnisse der Nutzer singulärer Werkzeuge zurückfallen. In der Abbildung 30 sind die Mittelwerte der Versuchsgruppen zunächst graphisch dargestellt.

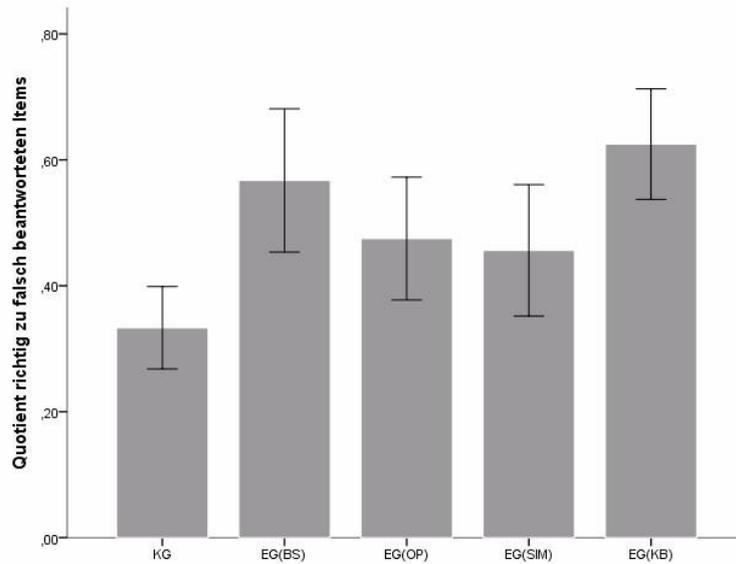


Abb. 30: Antwortgüte der Items zu Makropropositionen des Wissenstests.

Aus der Tabelle 21 geht hervor, dass die Probanden der EK_{KB} sich deutlich von der Kontrollgruppe abheben und zudem die höchsten Ergebnisse aller Versuchsgruppen aufweisen.

Tab. 21: Antwortgüte der Items zu Makropropositionen im Wissenstest - Mittelwert und Standardabweichung, aller Versuchsgruppen.

	KG <i>M (SD)</i>	EG _{BS} <i>M (SD)</i>	EG _{OP} <i>M (SD)</i>	EG _{SIM} <i>M (SD)</i>	EG _{KB} <i>M (SD)</i>
Antwortgüte der Items zu Makropropositionen des Wissenstests	0.33 (0.15)	0.57 (0.19)	0.48 (0.26)	0.46 (0.22)	0.63 (0.16)

Die Ergebnisse der inferenz-statistischen Prüfung in Tabelle 22 unterstützen das Bild der Mittelwertsunterschiede. Es zeigt sich, dass die Werte der EG_{KB} sich nicht nur von denen der Kontrollgruppe bedeutend unterscheiden, sondern auch von denen der EG_{OP} und EG_{SIM}. Damit bestätigt sich eindrucksvoll die Annahme besonders tiefer Informationsverarbeitung, ausgelöst durch die Nutzung aller drei Applikationen.

Tab. 22: Antwortgüte der Items zu Makropropositionen im Wissenstest - Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Paarvergleiche zwischen der EG_{KB} und den anderen Versuchsgruppen.

	EG _{KB} - EG _{KG}		EG _{KB} - EG _{BS}		EG _{KB} - EG _{OP}		EG _{KB} - EG _{SIM}	
	<i>TG</i>	<i>Sig EG</i>	<i>TG</i>	<i>Sig EG</i>	<i>TG</i>	<i>Sig EG</i>	<i>TG</i>	<i>Sig EG</i>
Antwortgüte der Items zu Makropropositionen des Wissenstests	$t(38) = -5.69$	$p < .01$ $r = .68$	$t(27) = -0.88$	$p = .39$ $r = .17$	$t(43) = -2.38$	$p = .02$ $r = .34$	$t(34) = -2.52$	$p = .02$ $r = .4$

9.2.4 Prüfung der Hypothese H2_4a

Die gerichtete Hypothese H2_4a formuliert die Erwartung, dass die Probanden der EG_{KB} im Nachgang bedeutend häufiger tiefenorientierte Lernstrategien berichten als die der Kontrollgruppe bzw. in nicht geringerem Maße als die der anderen drei Experimentalgruppen. In den deskriptiven Analysen (Tab. 23) zeigt sich bereits, dass Mitglieder der EG_{KB} ähnlich häufig solche Vorgehensweisen berichten wie die anderen Versuchsgruppen. Dieses Bild bestätigt sich in der inferenz-statistischen Überprüfung der Mittelwertsunterschiede (Tab. 24). Das Ergebnis widerlegt die Hoffnung, dass es durch eine Kombination mehrerer Applikationen zu einer steigenden Zahl von selbst beobachteten Tiefenstrategien kommt.

Tab. 23: Selbstberichtete Tiefenstrategien beim Lernen - Mittelwert und Standardabweichung, aller Versuchsgruppen (z-Werte).

	KG <i>M (SD)</i>	EG _{BS} <i>M (SD)</i>	EG _{OP} <i>M (SD)</i>	EG _{SIM} <i>M (SD)</i>	EG _{KB} <i>M (SD)</i>
Selbstberichtete Tiefenstrategien beim Lernen	-0.05 (0.44)	-0.1 (0.41)	0.06 (0.3)	-0.01 (0.53)	0.05 (0.42)

Tab. 24: Selbstberichtete Tiefenstrategien beim Lernen - Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Paarvergleiche zwischen der EG_{KB} und den anderen Versuchsgruppen.

	EG _{KB} - EG _{KG}		EG _{KB} - EG _{BS}		EG _{KB} - EG _{OP}		EG _{KB} - EG _{SIM}	
	<i>TG</i>	<i>Sig EG</i>	<i>TG</i>	<i>Sig EG</i>	<i>TG</i>	<i>Sig EG</i>	<i>TG</i>	<i>Sig EG</i>
Selbstberichtete Tiefenstrategien beim Lernen	<i>t</i> (38) = -0.78	<i>p</i> = .44 <i>r</i> = .13	<i>t</i> (27) = -1	<i>p</i> = .32 <i>r</i> = .19	<i>t</i> (44) = 0.08	<i>p</i> = .94 <i>r</i> = .01	<i>t</i> (34) = -0.4	<i>p</i> = .69 <i>r</i> = .07

9.2.5 Prüfung der Hypothesen H2_5a-b

Im Zuge der gerichteten Hypothesen H2_5a-b wird von nun an die Auswirkung der Toolnutzung auf die mentale Modellbildung behandelt. An dieser Stelle wird vermutet, dass sich dies in der Lösungsgüte des Wissenstests als auch auf die Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe niederschlagen sollte, worin die EG_{KB} deutlich bessere Werte erlangen müsste als die Kontrollgruppe und keine schlechteren als die anderen drei Versuchsgruppen. Die Abbildungen 31 und 32 verdeutlichen die Mittelwertsunterschiede graphisch.

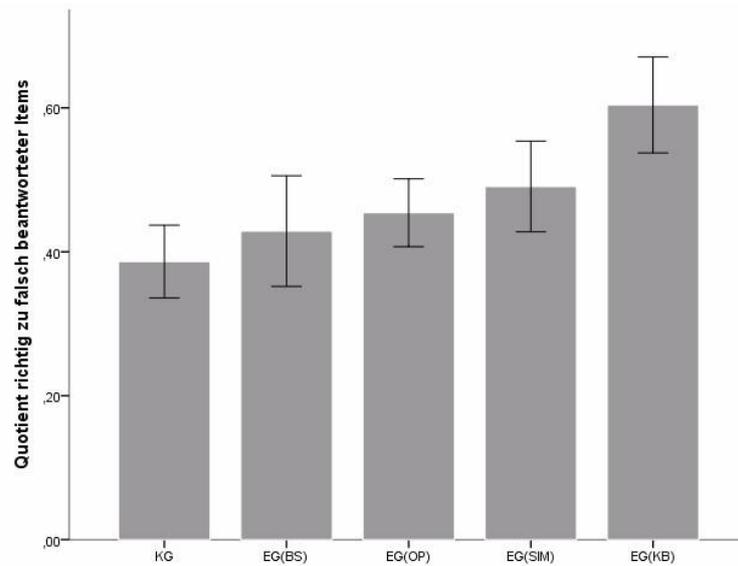


Abb. 31: Antwortgüte der Items des Wissenstests.

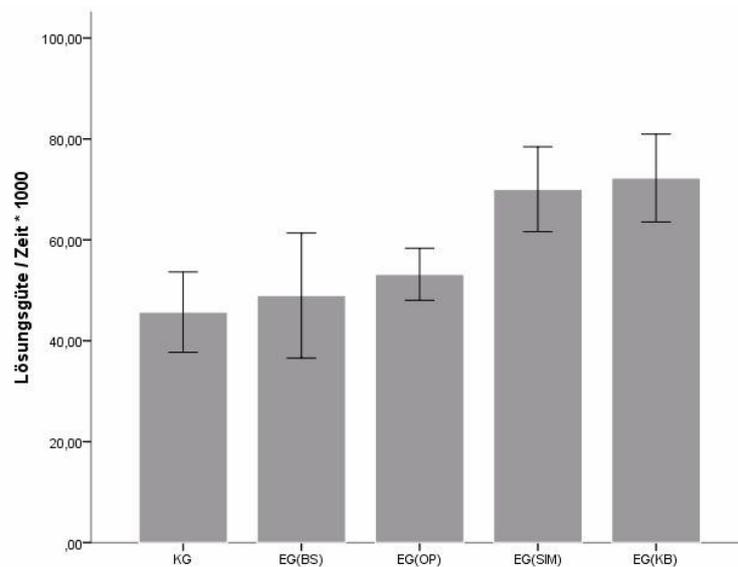


Abb. 32: Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe.

Die Darstellung der Mittelwerte in Tabelle 25 zeigt, dass sich die EG_{KB} von allen anderen Gruppen abhebt. Dieses Bild bestätigt sich auch hier in der inferenz-statistischen Auswertung (Tab. 26), worin sämtliche Paarvergleiche zu Gunsten der kombinierten Toolnutzer ausfallen. Einzig die Probanden mit Simulationswerkzeug erreichen in der Anlagensteuerung ähnlich hohe Werte wie die EG_{KB}.

Somit bewahrheitet sich die Annahme, dass das mentale Modell von einer Nutzung der drei Teilapplikationen während des Lernens stark profitiert. Dies verdeutlicht sich insbesondere im Vergleich zu jenen Personen, die kein digitales Werkzeug zur Verfügung hatten. Der Zuwachs im Fak-

tenwissen wie in der Bedienfähigkeit durch den Gebrauch des kombinierten Werkzeuges liegt bei durchschnittlich 64%.

Tab. 25: Antwortgüte der Items des Wissenstests und Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe - Mittelwert und Standardabweichung, aller Versuchsgruppen.

	KG <i>M (SD)</i>	EG _{BS} <i>M (SD)</i>	EG _{OP} <i>M (SD)</i>	EG _{SIM} <i>M (SD)</i>	EG _{KB} <i>M (SD)</i>
Antwortgüte der Items des Wissenstests	0.39 (0.12)	0.43 (0.13)	0.45 (0.13)	0.49 (0.13)	0.60 (0.13)
Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe	45.68 (18.88)	48.97 (20.49)	53.17 (13.8)	70.04 (18.01)	72.25 (16.34)

Tab. 26: Antwortgüte der Items des Wissenstests und Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe - Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Paarvergleiche zwischen der EG_{KB} und den anderen Versuchsgruppen.

	EG _{KB} - EG _{KG}		EG _{KB} - EG _{BS}		EG _{KB} - EG _{OP}		EG _{KB} - EG _{SIM}	
	<i>TG</i>	<i>Sig EG</i>	<i>TG</i>	<i>Sig EG</i>	<i>TG</i>	<i>Sig EG</i>	<i>TG</i>	<i>Sig EG</i>
Antwortgüte der Items des Wissenstests	$t(38) = -5.53$	$p < .01$ $r = .67$	$t(27) = -3.71$	$p < .01$ $r = .58$	$t(44) = -3.84$	$p < .01$ $r = .5$	$t(34) = -2.59$	$p = .01$ $r = .41$
Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe	$t(38) = -4.59$	$p < .01$ $r = .6$	$t(27) = -3.40$	$p < .01$ $r = .55$	$t(44) = -4.18$	$p < .01$ $r = .53$	$t(34) = -0.38$	$p = .7$ $r = .07$

9.2.6 Prüfung der Hypothesen H2_6a-b

In den zwei Hypothesen H2_6a-b wird vermutet, dass die Nutzer des kombinierten Lernwerkzeuges in beiden Inhaltsbereichen des Wissenstests bessere Lernleistungen erzielen als die Kontrollgruppe und zugleich keine geringeren als die Probanden der anderen Experimentalgruppen. Erneut sind zunächst die Mittelwertsunterschiede graphisch dargestellt (Abb. 33 und 34).

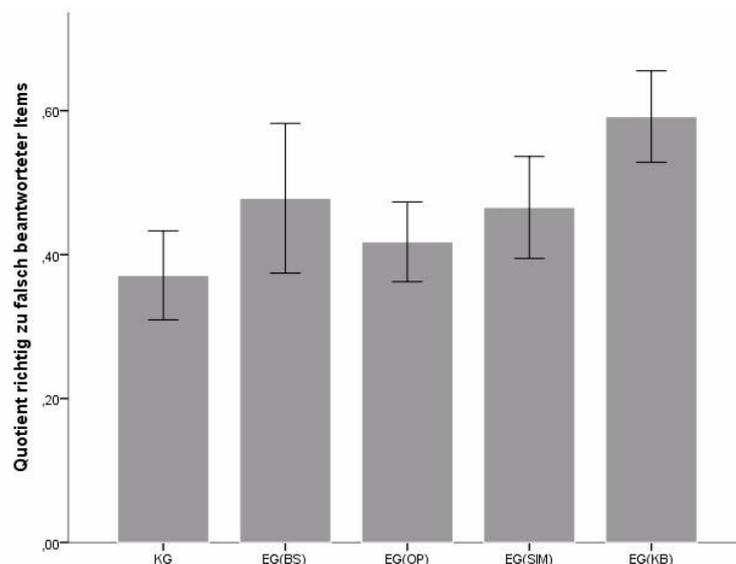


Abb. 33: Antwortgüte der topologischen Items des Wissenstests.

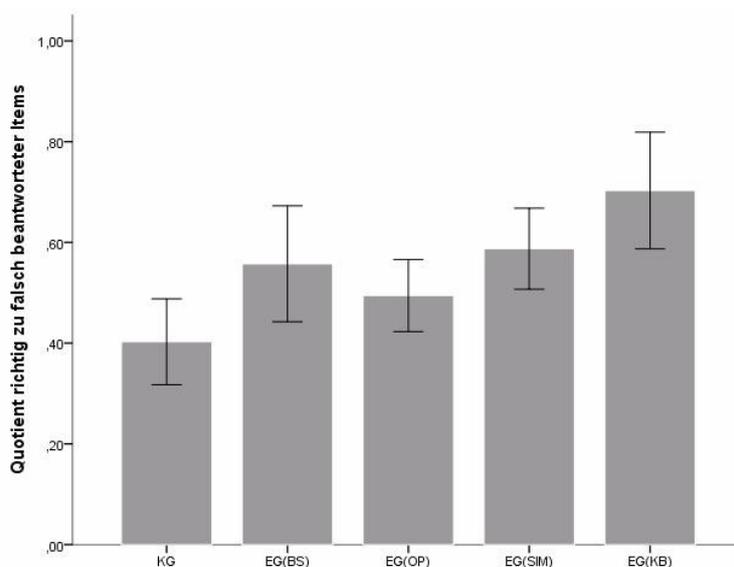


Abb. 34: Antwortgüte der operativen Items des Wissenstests.

Ähnlich den vorherigen Testvariablen hebt sich auch im topologischen und operativen Faktenwissen die EG_{KB} sehr deutlich von den anderen Versuchsgruppen ab (Tab. 27). Alle Paarvergleiche sind signifikant bzw. weisen einen robusten Trend auf (Tab. 28). Im Fazit bestätigen die Daten die Erwartung, dass sich der Wissenszuwachs durch die Toolnutzung in beiden spezifischen Wissensbereichen über den Lerngegenstand niederschlägt.

Tab. 27: Antwortgüte der topologischen und operativen Items des Wissenstests - Mittelwert und Standardabweichung, aller Versuchsgruppen.

	KG M (SD)	EG _{BS} M (SD)	EG _{OP} M (SD)	EG _{SIM} M (SD)	EG _{KB} M (SD)
Antwortgüte der topologischen Items des Wissenstests	0.37 (0.15)	0.48 (0.17)	0.42 (0.15)	0.47 (0.15)	0.59 (0.12)
Antwortgüte der operativen Items des Wissenstests	0.40 (0.2)	0.60 (0.2)	0.49 (0.19)	0.59 (0.17)	0.7 (0.22)

Tab. 28: Antwortgüte der topologischen und operativen Items des Wissenstests - Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Paarvergleiche zwischen der EG_{KB} und den anderen Versuchsgruppen.

	EG _{KB} - EG _{KG}		EG _{KB} - EG _{BS}		EG _{KB} - EG _{OP}		EG _{KB} - EG _{SIM}	
	TG	Sig EG	TG	Sig EG	TG	Sig EG	TG	Sig EG
Antwortgüte der topologischen Items des Wissenstests	t(38) = -5.01	p < .01 r = .63	t(27) = -2.09	p = .05 r = .37	t(44) = -4.04	p < .01 r = .52	t(34) = -2.72	p = .01 r = .42
Antwortgüte der operativen Items des Wissenstests	t(38) = -4.47	p < .01 r = .59	t(27) = -1.89	p = .07 r = .34	t(44) = -3.35	p < .01 r = .45	t(34) = -1.78	p = .08 r = .29

9.2.7 Prüfung der Hypothesen H2_6c

In der abschließenden Hypothese H2_6c wird die Annahme vertreten, dass die Probanden der Experimentalgruppe auf Grund der Systemabbildung in zwei Teilapplikationen bedeutend mehr Lokalisationsaufgaben richtig lösen können als die Kontrollgruppe. Zudem sollten sie in dieser Testvariable erneut nicht hinter die anderen Experimentalgruppen mit Einzelwerkzeug zurückfallen. Die Mittelwerte sind zu Beginn in Abbildung 35 visualisiert.

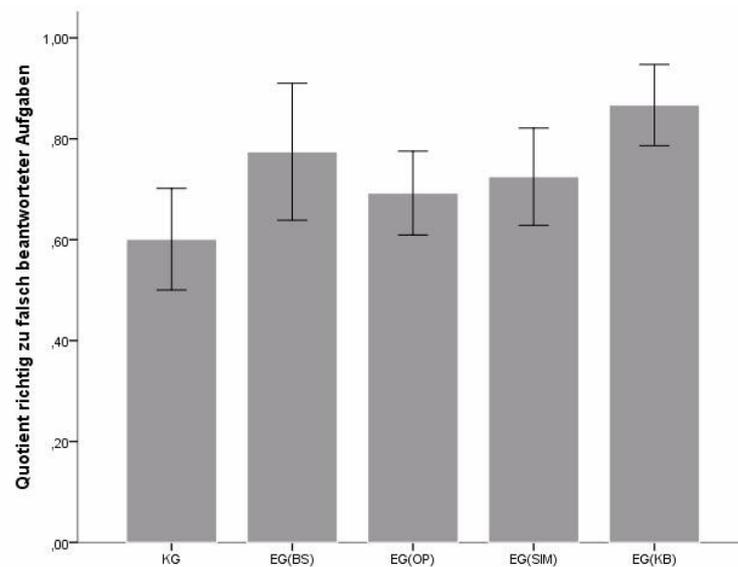


Abb. 35: Lösungsqualität der Lokalisationsaufgaben.

Die Durchschnittswerte der Versuchsgruppen deuten bereits auf einen deutlichen Leistungsvorsprung der EG_{KB} hin (Tab. 29). Die inferenz-statistischen Analysen der Daten untermauern diesen Eindruck (Tab. 30). Hier sind lediglich die Werte der EG_{BS} auf einem vergleichbaren Niveau, während sich die Probanden der anderen drei Versuchsgruppen signifikant von jenen mit kombiniertem Werkzeug unterschieden. Dieses Resultat steht im Einklang mit den zuvor berichteten Daten und bestätigt erneut die erwartete gesamthafte Förderung des Wissenserwerbs.

Tab. 29: Lösungsgüte der Lokalisationsaufgaben - Mittelwert und Standardabweichung aller Versuchsgruppen.

	KG <i>M (SD)</i>	EG _{BS} <i>M (SD)</i>	EG _{OP} <i>M (SD)</i>	EG _{SIM} <i>M (SD)</i>	EG _{KB} <i>M (SD)</i>
Lösungsgüte der Lokalisationsaufgaben	0.60 (0.24)	0.77 (0.22)	0.69 (0.22)	0.72 (0.21)	0.87 (0.15)

Tab. 30: Lösungsgüte der Lokalisationsaufgaben - Testgröße, Signifikanzniveau und Effektgröße für die Paarvergleiche zwischen der EG_{KB} und den anderen Versuchsgruppen.

	EG _{KB} - EG _{KG}		EG _{KB} - EG _{BS}		EG _{KB} - EG _{OP}		EG _{KB} - EG _{SIM}	
	TG	Sig EG	TG	Sig EG	TG	Sig EG	TG	Sig EG
Lösungsgüte der Lokalisationsaufgaben	t(38) = -3.96	p < .01 r = .54	t(27) = -1.32	p = .2 r = .25	t(41) = -3.14	p < .01 r = .42	t(34) = -2.3	p = .03 r = .37

9.2.8 Ergebnisübersicht

Zusammenfassend lässt sich die Forschungsfrage 3 (*Ist es möglich, den Lernprozess durch eine Kombination verschiedenartig gestalteter computergestützter kognitiver Lernwerkzeuge so zu beeinflussen, dass die mentale Modellbildung umfassend befördert wird?*) eindeutig beantworten. Sämtliche Daten - bis auf die Ergebnisse des Lernstrategiefragebogens - sprechen für den Einsatz eines kombinierten Lernwerkzeuges. Sowohl die objektiven Verlaufsdaten als auch die Erhebung des Lernzuwachses lassen auf eine tiefere Informationsverarbeitung schließen, die durch das kombinierte Lernwerkzeug initiiert wurde. Dies resultiert in einem mentalen Modell, das in allen erhobenen Facetten - topologisches und operatives Faktenwissen sowie die Güte des Handlungsplanes - dem der Vergleichsstichprobe ohne digitales Lernwerkzeug weit überlegen ist. Darüber hinaus ist das Leistungs-niveau der Nutzer des kombinierten Tools auch konstant höher als das der Probanden mit singulären Anwendungen. Die erzielten Befunde sind in Tabelle 31 noch einmal zusammengefasst. Hier unterstreicht die überwiegende Zahl signifikanter Mittelwertsunterschiede als auch die fast ebenso vielen hohen Effektgrößen die Antwort auf die Forschungsfrage.

Tab. 31: Übersicht zu den Ergebnissen der STUDIE II.

Hypothese	EG _{KB} - EG _{KG}	EG _{KB} - EG _{BS}	EG _{KB} - EG _{OP}	EG _{KB} - EG _{SIM}
	Sig (EG)	Sig (EG)	Sig (EG)	Sig (EG)
H2_1	+ (m)	/	/	/
H2_3a	+ (g)	- (k)	+ (m)	+ (m)
H2_4a	- (k)	- (k)	- (k)	- (k)
H2_5a	+ (g)	+ (g)	+ (g)	+ (m)
H2_5b	+ (g)	+ (g)	+ (g)	o (k)
H2_6a	+ (g)	+ (m)	+ (g)	+ (m)
H2_6b	+ (g)	o (m)	+ (m)	o (m)
H2_6c	+ (g)	- (m)	+ (m)	+ (m)

Hypothese	Sig (EG)
H_2_2a-c	+ (g)
H_2_2d	o (g)
H_2_2e	- (m)

Anmerkungen: Weiße Felder = hypothesenkonformes Ergebnis, Graue Felder = hypothesennonkonformes Ergebnis

+ = signifikantes Ergebnis, o = Trend, - = nicht signifikantes Ergebnis

10 Gesamtergebnisse

Die Eingangsfrage „*Lässt sich generalisieren, dass verschiedenartige computergestützte kognitive Lernwerkzeuge ihre Nutzer spezifisch in tiefere Informationsverarbeitungsaktivitäten involvieren, die sie ohne jene Tools nicht zeigen würden?*“ konnte mit Hilfe verschiedenster Daten recht eindeutig beantwortet werden. Bis auf die retrospektiv berichteten Lernstrategien lassen sich sowohl die objektiven Verlaufsdaten als auch die Erhebung des Lernzuwachses zu Gunsten jener spezifischen, tieferen Denkprozesse interpretieren. Vergleichbares gilt auch für die zweite Forschungsfrage „*Lässt sich generalisieren, dass solche verschiedenartigen computergestützten kognitiven Lernwerkzeuge somit spezifisch die mentale Modellbildung fördern?*“. Hier zeigte sich entsprechend der Erwartung, dass nicht jedes Tool den Wissenszuwachs in allen Teilbereichen gleich unterstützt. In Abhängigkeit von den Interaktionsmöglichkeiten, den repräsentierbaren Inhalten sowie der Visualisierungsform der Werkzeuge lassen sie ihre Nutzer auf unterschiedliche Aspekte des Lerngegenstandes konzentrieren. Als Konsequenz ergab sich die dritte Forschungsfrage „*Ist es möglich, den Lernprozess durch eine Kombination verschiedenartig gestalteter computergestützter kognitiver Lernwerkzeuge so zu beeinflussen, dass die mentale Modellbildung umfassend befördert wird?*“. Auch diese konnte positiv beantwortet werden. Mit Hilfe einer multipel angereicherten Lernumgebung gelang es nachzuweisen, dass eine solche Kombination an Tools ebenfalls in der Lage ist, seine Nutzer in tiefere Informationsverarbeitungsprozesse zu involvieren und bei ihnen zugleich ein in allen untersuchten Teilbereichen elaborierteres mentales Modell zu erzeugen.

Neben diesen erwarteten Effekten zeigt sich im direkten Vergleich der vier Lernwerkzeuge ein weiterer interessanter Befund: Die Wirksamkeit des kombinierten Tools liegt in allen erhobenen Effektivvariablen höher als jene der Einzeltools. So investierten die Probanden der EG_{KB} noch einmal 20% mehr Zeit in den Wissenserwerb als die EG_{OP}, welche unter den fünf Versuchsgruppen am zweitlängsten lernte. Ähnliches gilt auch für den gesamten Wissenstest (18% Leistungszuwachs im Vergleich zur zweitplatzierten EG_{SIM}), seine Teilbereiche Makropropositionen (10% gegenüber der EG_{BS}), Topologie (24% gegenüber der EG_{BS}) und Operatoren (6% gegenüber der EG_{SIM}) sowie die Lokalisationsaufgaben (21% gegenüber der EG_{BS}) und die Steuerungsaufgabe (3% gegenüber der EG_{SIM}). In der Abbildung 36 sind die Ergebnisse in Form von z-standardisierten Werten nochmals graphisch veranschaulicht. Der ermittelte Befund spiegelt sich auch in einer größeren Anzahl signifikanter Mittelwertsvergleiche der Probanden mit hybrider Lernumgebung gegenüber der Kontrollgruppe wider. Dasselbe gilt für die betreffenden Effektgrößen, welche bei der EG_{KB} zum überwiegenden Teil hoch ausfallen. Dieses Ergebnis ist von besonderer Relevanz, da man davon ausgehen konnte, dass sich die Leistungen der Probanden mit kombinierten Werkzeug in allen Effektivvariablen in etwa auf dem Niveau derjenigen mit singulärem Tool bewegen würden, welche in STUDIE I die höchsten Erfolgsraten aufwiesen. Stattdessen aber leisten die jeweils anderen Teilapplikationen einen zusätzlichen

Mehrwert. An dieser Stelle bestätigt sich erneut die Annahme von de Kleer & Brown (1983), dass es sich bei der mentalen Modellbildung über technische Systeme um einen sequenziellen Prozess handelt, der auch durch indirekte Wirkungen von später im Lernverlauf verorteten Tools nicht adäquat abgedeckt wird. Durch den Einsatz einzelner Applikationen werden nicht direkt unterstützte Lernschritte offenbar nur suboptimal durchlaufen, was sich auf nachgelagerten Stufen in der Bildung eines Situationsmodells nachteilig auswirkt, da sie von der Qualität des bereits Erlernten abhängig sind.

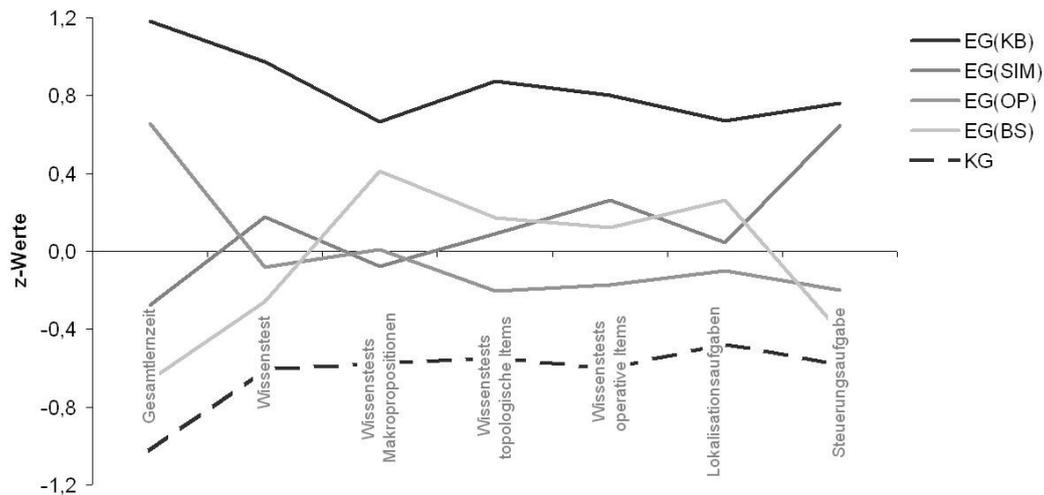


Abb. 36: Leistungsniveau aller Versuchsgruppen in verschiedenen Testvariablen.

Allerdings hat der Erfolg des kombinierten Tools eine entscheidende Kehrseite. Diese liegt im Kosten-Nutzenverhältnis der Werkzeugnutzung. Erst wenn das Erlernen der Werkzeugbedienung sowie die Zeit für und die mentale Belastung durch das Anwenden des Tools in einem sinnvollen Verhältnis zu den antizipierten Lernerfolgen steht, kann eine Entscheidung zu Gunsten des Werkzeuges erwartet werden. Vergleicht man die Nutzungshäufigkeit und -qualität aller vier Werkzeuge anhand der resultierenden Stichprobenreduktion miteinander, zeigt sich diesbezüglich ein enormes Gefälle, in dem das Operatortool mit 91% aller betreffenden Probanden mit guter Verwendung das Maximum verkörpert, während das kombinierte Tool von gerade einmal 17% der entsprechenden Versuchsteilnehmer in seinem vollen Funktionsumfang und in ausreichendem Maße gebraucht wurde. Offensichtlich erschloss sich dem Großteil der Probanden nicht der Zweck aller drei Teilapplikationen. Ob dies am Werkzeug selbst oder der artifiziellen Lernsituation im Versuchslabor lag, in der die Probanden für sie selbst irrelevantes Material erlernen sollten, ist mit den vorhandenen Daten nicht zu entscheiden und verdient weitergehende Analysen.

Eine genauere Betrachtung verdient zudem die Ursache des Lernerfolges. Aus den Vorüberlegungen zur Toolwirkung ergab sich die These, dass es die Interaktion mit dem Werkzeug ist, welche die erfolgsrelevanten kognitiven Prozesse auslöst. Hierzu müssen die Werkzeuge überhaupt aufgerufen und zu einem Mindestmaß verwendet werden. In der Korrelationstabelle D (im Anhang) steht die

entsprechende Variable *Qualität der Toolnutzung* entgegen der Erwartung aber in keinem signifikanten Zusammenhang mit den Maßen des Lernerfolges (Variablen des *Wissenstests*, die *Lokalisationsaufgaben* und die *Steuerungsaufgabe*). Dies könnte an der Verwendung einer Stichprobe liegen, welche bereits a priori anhand dieser Variable bereinigt wurde. Um die Bedeutung der Toolnutzungsqualität genauer zu eruieren, wurde post hoc eine Kovarianzanalyse (Faktor Versuchsgruppe, Kovariate Toolnutzungsqualität) aller 4 Experimentalgruppen mit der Kontrollgruppe gerechnet. Hier erwies sich der Zusammenhang zwischen der Güte des Werkzeuggebrauchs und den zwei Messgrößen des mentalen Modells *Lösungsgüte des Wissenstests* ($F(1) = 9.4, p < .01, \eta^2 = .11$) und *Effizienz in der Lösung der Steuerungsaufgabe* ($F(1) = 10.93, p < .01, \eta^2 = .13$) als statistisch hoch bedeutend. Auch nach der statistischen Kontrolle dieses Effekts blieb der resultierende Haupteffekt durch die Gruppenzugehörigkeit aber sowohl für die erstgenannte Variable ($F(4) = 9.43, p < .01, \eta^2 = .28$) als auch die zweite ($F(4) = 13.04, p < .01, \eta^2 = .35$) stabil. Dies bedeutet in der Konsequenz, dass die Güte der Werkzeugnutzung über das cut-off-Kriterium von 0.3 hinaus durchaus einen signifikanten Beitrag für den Lernerfolg leistet, jedoch den Effekt der Gruppenzugehörigkeit (ergo der bloßen Toolbereitstellung) kaum mindert. Der erfolgskritische Punkt scheint - besonders angesichts der weit höheren Effektgrößen - die Toolanwendung per se zu sein, weniger die Intensität der Interaktion mit ihm.

Interessanterweise ergeben sich in der Korrelationstabelle D zwischen der Gesamtlernzeit und den Variablen des Lernerfolges sehr große Zusammenhänge. In Bezug auf die Dauer des Lernprozesses zeigte sich, dass die Toolnutzung nicht zu Lasten der anderen Lernaktivitäten (Informationsrezeption und Verfassen schriftlicher Aufzeichnungen) ging. In der Folge dauerte der durchschnittliche Lernprozess bis zu 3 ½-mal (EG_{KB}) länger als ohne digitale Lernunterstützung. Die Vermutung liegt nahe, dass diese zeitliche Veränderung selbst den Lernerfolg zum Großteil erklärt, unabhängig von den generativen Aktivitäten, die mit den Tools während dessen durchgeführt wurden. In einer weiteren Re-Analyse des Lernerfolgs aller 4 Experimentalgruppen mit der Kontrollgruppe mittels einer Kovarianzanalyse (Faktor Versuchsgruppe, Kovariate Gesamtlernzeit) erwies sich jedoch der Zusammenhang zwischen der Gesamtlerndauer und den zwei Messgrößen des mentalen Modells *Lösungsgüte des Wissenstests* ($F(1) = 0.89, p = .35, \eta^2 = .01$) und *Effizienz in der Lösung der Steuerungsaufgabe* ($F(1) = 0.05, p = .82, \eta^2 < .01$) als statistisch unbedeutend. Der bereinigte Haupteffekt der Gruppenzugehörigkeit blieb sowohl für die erstgenannte Variable ($F(4) = 3.9, p = .01, \eta^2 = .14$) als auch die zweite ($F(4) = 7.81, p < .01, \eta^2 = .25$) unberührt. Das heißt., der größere Lernerfolg durch die Toolbereitstellung ist keine bloße Folge der dadurch längeren Dauer des Lernprozesses.

Desweiteren fallen in der Tabelle D die durchweg hohen Korrelationen zwischen den Effektivvariablen untereinander auf. Es drängt sich der Verdacht auf, dass es sich hier um einen g-Faktor handeln könnte. Für eine solche Vermutung spricht zunächst, dass mittels der verschiedenen Erhebungsarten des Lernerfolges letztlich immer dasselbe mentale Modell der Probanden abgeschätzt werden sollte.

Andererseits kann eine Scheinkorrelation nicht ausgeschlossen werden, da sich die verschiedenartig erhobenen Wissensbestandteile gegenseitig bedingen. Im Modell von de Kleer & Brown (1983) bauen die späteren Lernprozesse auf den Resultaten der früheren auf, die entsprechenden Tools entfalten somit zum Teil eine indirekte Wirkung und unterstützen auch früher im Lernprozess angesiedelte Aneignungsschritte (siehe Abschnitt 6.2). Dies führt dazu, dass die Daten der Korrelationstabelle von Werkzeugen dominiert werden, die tendenziell das gesamte mentale Modell fördern. Gegen die Annahme eines latenten g-Faktors sprechen zudem die Zahlen der beiden Inhaltsklassen des Wissenstests sowie der Steuerungsaufgabe, mit derer sich toolspezifische Effekte auf einzelne Wissensbestandteile nachweisen ließen (siehe Abschnitt 6.2).

Wie sich all diese Befunde in die allegmeine Literaturlage einbetten lassen und welche kritischen Aspekte dabei zu beachten sind, wird im folgenden Kapitel erörtert.

11 Diskussion

11.1 Diskussion der Ergebnisse

Mit der vorliegenden Arbeit ist es gelungen, einen Weg aufzuzeigen, das individuelle verstehende Lernen durch digitale Medien effektiv zu fördern. Es zeigte sich, dass die verwendeten Applikationen zum Beschriften von Bauteilen der Anlage, zur Zusammenstellung von Bedienoperationen und zur Simulation einen eigenen Mehrwert bei der Entwicklung eines mentalen Modells über den Lerngegenstand bieten. Dies ist insofern von besonderer Relevanz, als dass es in bisherigen Studien nach Kenntnis des Autors keine solche differenzierte Analyse darüber gab, welchen Beitrag die Teilwerkzeuge einer hybriden Lernumgebung liefern. Durch separate Experimente gelang der Nachweis, dass sich die Gesamtwirkung des kombinierten Lernwerkzeuges grundsätzlich additiv aus den Effekten seiner Teilapplikationen zusammensetzt. Diese wiederum ließen sich durch das zu ihrer Konstruktion zu Grunde gelegte Lernmodell von de Kleer & Brown (1983) und Kieras (1988) sehr gut vorhersagen. Während andere Autoren von ähnlichen Vorannahmen ausgehen (bspw. Brickell et al., 2003; Iiyoshi & Hannafin, 1996; Liu & Bera, 2005), blieben sie den letztendlichen Nachweis doch immer schuldig.

Die spezifische Wirkung der eingesetzten Tools begründet sich aus den kognitiven Prozessen, die sie initiierten. Es konnte nachgewiesen werden, dass jede Applikation ihre Nutzer zu generativen Informationsverarbeitungsprozessen (Wittrock, 1990) anregt, die sie ohne diese Unterstützung nicht von sich aus zeigen würden. Das Ergebnis reiht sich bestätigend in die noch junge Forschung ein, Erkenntnisse Wittrocks auf multimediale Lernumgebungen zu übertragen (vgl. Gao & Lehman, 2003; Lee & Grabowski, 2009; Wang et al., 1999). Dies ist unter anderem deswegen von besonderer Bedeutung, da im Vorfeld nicht zwingend davon ausgegangen werden konnte, dass es durch die Lernwerkzeuge zu einer höheren Investition in das Lernen kommen würde. Zum Einen existieren Hinweise darauf, dass die Funktionen des analogen Werkzeuges (Papier & Bleistift) durch die digitalen Angebote vollständig ersetzt werden (Barab et al., 1999; Lee & Grabowski, 2009), zum Anderen können computergestützte kognitive Lernwerkzeuge auch dazu führen, dass eine Zeitersparnis erwartet wird (Bernard et al., 2004) bzw. tatsächlich eintritt (Martens, Valcke, Poelmans & Daal, 1996). Beides trifft für die aktuelle Forschungsreihe jedoch nicht zu. Die Probanden mit digitaler Unterstützung investierten deutlich mehr Zeit in das Lernen und nutzten diese für zusätzliche generative Aktivitäten, sowohl am konventionellem als auch am multimedialen Tool.

Desweiteren zeigte die erste Studie, dass sich die Probanden auf jene Wissensbereiche konzentrieren, die zu einer sinnvollen Werkzeugbedienung erforderlich waren. Auf diese Weise wird die Annahme gestützt, dass solche Tools als Orientierungsaufgabe wirken (Brünken et al., 2003a; Hyde & Jenkins, 1969; Lockhart et al., 1976). In der zweiten Studie gelang es, diese fokussierenden Wirkungen größtenteils additiv zu kombinieren, um im Resultat ein in allen hier erhobenen inhaltlichen Teilaspekten umfangreiches mentales Modell zu erzeugen. Dieser kombinatorische Effekt wurde im

Vorfeld zwar von anderen Autoren explizit angenommen (Brickell et al.; Iiyoshi & Hannafin, 1996; Liu & Bera, 2005) bzw. implizit in den eigenen Studien genutzt (Lajoie et al., 2001; Sime, 2002), jedoch wären auch gegenteilige Resultate zu erwarten gewesen. Besonders die mentale Mehrbelastung (Sweller, 2005) durch das Erlernen der Teilapplikationen des kombinierten Werkzeuges, ihre anschließende Bedienung sowie die mentale Integration der unterschiedlich visualisierten externalisierten Informationen war eines der größten Hemmnisse für den Lernerfolg. Zudem ergaben sich aus den Studien der Vorgängerautoren keine Hinweise darauf, ob eines der singulären Lernwerkzeuge eine dominierende Wirkung auf den Lernverlauf und damit auf die mentale Modellbildung hat.

Der STUDIE I kommt noch eine weitere, gesonderte Bedeutung zu. In ihr wurde nicht nur der Grundstein für die differenzierte Wirkungsanalyse des kombinierten Lernwerkzeugs gelegt, sondern zugleich ein Beitrag für die Generalisierbarkeit der bis dato erzielten Befunde geleistet. Dies gelang, indem die Ergebnisse mit einer topologisch ähnlichen aber inhaltlich andersartigen Versuchsumgebung sowie einem verbesserten Operatorenwerkzeug verglichen wurden. Auf diese Weise lässt sich ihr Bewährungsgrad abschätzen (Bortz & Döring, 2006; Fiske, 1987). Dabei zeigte sich, dass die beiden Studienreihen zu vergleichbaren Ergebnissen führten. Zwar kam es in den Werten zu teils statistisch bedeutsamen Unterschieden, jedoch folgten die Mittelwertsunterschiede zwischen den jeweiligen Experimental- und Kontrollgruppen meist der gleichen Richtung und hatten allenfalls ordinalen Charakter (Bredenkamp, 1980). Das bedeutet, die Ergebnisse sind grundsätzlich auf andere Inhaltsdomänen, Nutzergruppen und auch Werkzeuge übertragbar. Hier bestätigt sich eine Grundannahme der konstruktivistischen Instruktionspsychologie (siehe Abschnitt 2.1), nach der Eigenschaften der Person und des Lernmaterials nachrangige Faktoren sind. In der Hauptsache kommt es darauf an, mit Hilfe geeigneter Unterstützungsmaßnahmen bedeutungsgenerierende kognitive Prozesse bei den Lernenden anzuregen (Edelmann, 1996; Norman et al., 1978; Wittrock, 1992). Damit wird der Forderung anderer Autoren widersprochen, die eine statistische Kontrolle von individuellen Merkmalen fordern, um den Lerneffekt eindeutig auf das Medium attribuieren zu können (Blömeke, 2003; Elshout, 1992; 2000; Kuhlen, 1991; siehe Abschnitt 3.3).

Was ein ‚geeignetes‘ Werkzeug ist, um verstehendes Lernen zu initiieren, konnte ebenfalls im Rahmen der STUDIE I aufgezeigt werden. Ein solches Hilfsmittel verortet sich nicht nur als Tool statt als Tutor im Würfelmodell von Jonassen (1992; siehe Abbildung 3). Darüber hinaus ist es in seiner visuellen Gestaltung und seinen Bedienmöglichkeiten so ansprechend, dass es Personen, denen es zur Nutzung angeboten wird, zu seiner Verwendung verleitet. Dies wird im vorliegenden Fall besonders offensichtlich, da auf eine Instruktion, welche die Probanden zur Toolnutzung verpflichtet, explizit verzichtet wurde. Von daher resultierte die Wirkung der Werkzeuge einzig aus ihrem impliziten Aufforderungscharakter. Anhand des Operatorenwerkzeuges von Schulz (2003; vgl. Wipper, 2004) lässt sich dieser Punkt beispielhaft illustrieren. Die von ihnen eingesetzte Tabellenabbildung war zwar hochwirksam bei denen, die es einsetzten, verfehlte aber weitgehend das Kriterium der Attraktivität,

was sich in den sehr niedrigen Nutzerzahlen widerspiegelte. In der aktuellen Versuchsreihe gelang es, ein deutlich vereinfachtes, aber vergleichbar wirksames Werkzeug zu konstruieren, das mit weit größeren Nutzerzahlen aufwarten kann. Dies veranschaulicht den oftmals schwierigen Spagat zwischen erwünschtem *germane cognitive load* (Paas et al., 2003), getriggert durch gezielt eingesetzte Lernhindernisse und die verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten der bereitgestellten Hilfsmittel, und unerwünschtem *extraneous cognitive load* (Sweller, 2005), ausgelöst durch einen überfordernden mentalen Aufwand zum Durchdringen des Lernmaterials und Erlernen bzw. Bedienen des Werkzeuges.

Im Einklang mit aktuellen Literaturquellen stehen auch die erzielten Ergebnisse zur Toolnutzungscharakteristik. So konnte in der zweiten Studie nachgewiesen werden, dass die Reihenfolge der genutzten Applikationen im kombinierten Lernwerkzeug exakt den Vorgaben von de Kleer & Brown (1983) entsprach, nach deren Konzept sich der Lernprozess in einer vorherbestimmten Sequenz abspielt. Unterstützt wird dieser Befund durch den bedeutsamen Zusammenhang zwischen der zeitlichen Reihenfolge des Werkzeuggebrauchs und dem Lernerfolg (vgl. Liu & Bera, 2005; Liu et al., 2009). Dies spricht insgesamt gegen die Annahme von Kluwe & Haider (1990), die mentale Modellbildung über technische Systeme basiere primär auf parallel ablaufenden Aneignungsprozessen.

Vergleicht man die Effekte der einzelnen Werkzeuge mit den Berichten anderer Autoren, so bestätigen die Ergebnisse des Beschriftungstools die bisherigen Erkenntnisse. Im Einklang mit der Forschung von Liu et al. (2000; 2006) fördert diese Art der Lernunterstützung das strukturelle Wissen über den Lerngegenstand und hat kaum Effekte auf das funktionale. Auch die Daten der Nutzer des Operatorenwerkzeugs reihen sich in die bisherige Befundlage ein. Wie schon bei Zumbach et al. (2002) konnte die direkte Förderung des operativen Wissens in einer Anwendungsaufgabe sowie die indirekte Unterstützung des deklarativen Wissens in einem Multiple-Choice-Test nachgewiesen werden. Die Simulation fügt sich ebenfalls in den allgemeinen Erkenntnisstand ein. Wie zuletzt bei Vogel et al. (2006) zeigte sich ein großer Effekt dieses Hilfsmittels auf den Lernerfolg. Und auch das kombinierte Werkzeug bestätigt die bisherigen Berichte zu hybriden Lernumgebungen. Ähnlich zu anderen Autoren besaßen die aktuell untersuchten Versuchspersonen ein elaborierteres mentales Modell als die anderen Probanden (Lajoie et al., 2001; Lajoie, 1993; Li, 2005). Darüber hinaus ist die Wirkung ebenfalls um so höher, desto theoriekonformer die Toolnutzung stattfand (Liu & Bera, 2005).

11.2 Diskussion der Methodik

Zu Beginn der kritischen Auseinandersetzung mit der verwendeten Methodik kann zunächst festgehalten werden, dass sich die verwendete Lern- & Testumgebung im Wesentlichen bewährt hat. Mit ihrer Hilfe gelang es, besonders in der zweiten Studie die angestrebten Effekte eindeutig nachzuweisen. Da man sich bei ihrer Konstruktion an den Gestaltungshinweisen von Mayer (2005d) und Kollegen orientierte (siehe Abschnitt 3.1), können die erzielten Ergebnisse auch als Bestätigung dieser Empfehlungen gewertet werden.

Bei genauerer Betrachtung zeigt sich jedoch der Makel einer ungleich verteilten Ähnlichkeit zwischen den Lernwerkzeugen und den Testinstrumenten. Grundsätzlich ist der ermittelte Lerneffekt weit deutlicher, wenn die Ermittlung des Wissensstandes auf die gleiche Weise erfolgt wie die vorherige Förderung (Brünken, Steinbacher, Schnotz & Leutner, 2001; Diehl & Mills, 1995). Dies trifft im vorliegenden Fall aber lediglich auf die Steuerungsaufgabe und das Simulationstool zu, welche die exakt gleiche Darstellungsform verwendeten. Die Art der Komponentenbeschriftung und der Operatorenzusammenstellung dagegen wurden in der Testphase nicht wieder aufgegriffen. Dies könnte zu einer Überschätzung der lernförderlichen Leistung der Simulation im Verhältnis zu den beiden anderen Werkzeugen führen (vgl. Tulving & Thompson, 1973). In Bezug auf das Operatortool kommt erschwerend hinzu, dass es als einziges Hilfsmittel Distraktoren (falsche Prozessschritte) enthält und nicht die Systemabbildung zur Visualisierung nutzt.

In Bezug auf die Gestaltung der Werkzeuge ergab sich eine gemischte Bilanz. Nimmt man das Nutzungsverhalten sowie die erzielten Lernleistungen als Indikatoren ihrer Qualität, so lässt die hohe Quote der Toolnutzer von 93% innerhalb der vier Experimentalgruppen zunächst darauf schließen, dass sie alle eine relativ ausgeprägte Attraktivität besitzen. Die durchweg guten Lernleistungen gegenüber der Kontrollgruppe sprechen zudem für eine Induzierung von mehrheitlich *germane cognitive load* (Paas et al., 2003). Dagegen steht die Tatsache, dass die Anzahl derer, die eine minimale Toolnutzungsqualität von $.3$ aufwiesen, zwischen 91% (EG_{OP}) und 17% (EG_{KB}) der jeweiligen Stichprobe schwankte. Es ist anzunehmen, dass all jenen Probanden mit einer geringen Anzahl von Aktionen am Werkzeug die Bedienung zu aufwändig erschien - d.h. ein zu hoher *extraneous load* (Sweller, 2005) vorlag - bzw. das Verhältnis zum antizipierten Lernerfolg nicht gewahrt war. Dies gilt besonders für das kombinierte Lernwerkzeug, da die Lerner hier mit mehreren, unterschiedlichen Visualisierungen und der Vielzahl an möglichen Operationen konfrontiert wurden. Hinzu kommt die Anforderung, jene verschiedenen Repräsentationen sinnvoll miteinander in Beziehung zu setzen, so dass ein integriertes mentales Modell vom Lerngegenstand entsteht (Rey, 2008). Eine andere Erklärung für die weit auseinander gehenden Quoten guter Toolnutzer bieten Martens & Valcke (1993) und Jechle (1998; beide in Wipper, 2004). Sie verweisen auf die Möglichkeit der Probanden, die Werkzeuge freiwillig und somit entsprechend des eigenen Bedarfes an Hilfestellung einsetzen zu können. In der Konsequenz bedeutete dies, dass die Versuchspersonen mit einer niedrigeren Nutzungsqualität als $.3$ der Unterstützung in den Einzelapplikationen nicht bedurften.

Ob eine Schwelle in der Toolnutzungsqualität in dieser Höhe angemessen war, ist ebenfalls diskussionswürdig. Grundsätzlich musste ein Cut-off-Wert festgeschrieben werden, da aus der Theorie zu erwarten war, dass das Interaktionsgeschehen am Werkzeug in einem engen Zusammenhang mit dem resultierenden Lernerfolg steht (siehe Abschnitt 3.4). Demnach braucht es einer minimalen Anzahl an qualifizierten Bedienschritten, um eine Wirkung des Tools im Sinne der Forschungsfragen überhaupt ausweisen zu können. Da keine diesbezüglichen Vorinformationen aus der Literatur vorlagen, musste

die Schwelle mit Hilfe der vorliegenden Daten bestimmt werden. Ihre Festsetzung auf .3 entsprang einem Kompromiss von maximalen Stichprobenumfängen und ausreichender Toolwirkung.

Unter den Testinstrumenten erwies sich der Fragebogen zu selbstberichteten Tiefenstrategien beim Lernen als ein Instrument von fragwürdiger Eignung. Ziel war es gewesen, mit seiner Hilfe toolbedingte Veränderungen im Lernprozess auf subjektiver Ebene nachzuvollziehen. Zu seiner Konstruktion wurde auf etablierte und konstruktvalide Instrumente zurückgegriffen. Zudem erzeugten die Probanden auch ausreichend Varianz in den Antworten. Diese steht aber in keinem bedeutenden Zusammenhang mit den anderen Effektivariablen (siehe Tab. D). Das könnte unter anderem mit mangelnder Selbstwahrnehmungskompetenz der Probanden zu tun haben. Artelt (2000) konnte in ihrer Studie zur prädiktiven Validität des Lernstrategiefragebogens von Lompscher (1995), der auch im vorliegenden Fall in abgewandelter Form zum Einsatz kam, den seit langem gehegten Zweifel an der Aussagekraft solcher Selbstbeurteilungsverfahren untermauern. Darin zeigte sich nicht nur, dass erinnertes und gezeigtes Lernverhalten in so gut wie keinem Zusammenhang stehen, sondern die Probanden darüber hinaus zur Überschätzung ihres strategischen Vorgehens tendierten (vgl. Wernke, 2009). Da keine direkten Beobachtungsdaten zu den im Fragebogen erhobenen Verhaltensweisen vorliegen, ist nicht abschließend zu klären, ob die abgefragten Informationen für die Versuchspersonen nur schwer retrospektiv zu bestimmen waren oder ob sich die Werkzeugnutzung nur marginal auf die Lernstrategien auswirkt. In jedem Fall ist das Instrument als solches kaum geeignet, die oben genannte Zielstellung zu erfüllen.

Zugleich hätte ein Instrument zur differenzierten Ermittlung der verschiedenen mentalen Belastungsarten (siehe Abschnitt 2.3) einen großen Nutzen gehabt. Da die positive Toolwirkung mit einem optimierten Verhältnis aus *extraneous* und *germane cognitive load* erklärt wird, wäre ein empirischer Nachweis von unschätzbarem Wert gewesen. Wie bereits erwähnt, liegen diesbezüglich derzeit nur unbefriedigende Instrumente vor, die es nicht erlauben, zwischen diesen Belastungsarten reliabel zu unterscheiden. Auf eine globale Messung wurde angesichts des begrenzten Aussagewertes verzichtet und stattdessen die indirekte Abschätzung durch die Toolnutzungsdaten favorisiert.

Ähnlich verhält es sich mit der Erhebung des mentalen Modells. In Abschnitt 2.4 wurden drei methodische Zugänge diskutiert, von denen sich ein inhaltsorientiertes (Wissenstest) und ein anwendungsorientiertes Verfahren (Steuerungsaufgabe) in der hier verwendeten Testumgebung wieder findet. Da es unmöglich ist, mentale Modelle direkt zu messen, muss ihre Güte indirekt erschlossen werden (Jonassen & Cho, 2008; Rowe & Cooke, 1995). In diesem Zusammenhang ist es empfehlenswert, alle Aspekte einer mentalen Repräsentation in die Erhebung aufzunehmen, um die Gesamtaussage so valide wie möglich zu gestalten. Hier wäre die zusätzliche Erhebung der strukturellen Ordnung der erlernten Informationen durch ein strukturorientiertes Verfahren von hohem Wert gewesen. Allerdings ist diese Methodenklasse zugleich die mit Abstand aufwändigste und hätte den verfügbaren Zeitrahmen bei weitem überstiegen.

Ein weiteres Problemfeld sind die zum Teil sehr geringen Stichprobenumfänge. Angestrebt waren Probandengruppen von mindestens $N = 20$ verwendbaren Personen, da dies im Anbetracht des Testaufwandes ausreichen sollte, mittlere bis große Effekte statistisch nachzuweisen (Bortz & Döring, 2006). Die für jede der Versuchsgruppen individuell geplanten Größenordnungen orientierten sich an den Erfahrungen der Vorgängerstudien von Baartz (2001), Majewski (2002) und Schulz (2003; vgl. Wipper, 2004). Für die STUDIE I scheinen sie angesichts der ermittelten Signifikanz- und Effektgrößemaße ausreichend gewesen zu sein. In STUDIE II jedoch erwies sich der Umfang der EG_{KB} von $N = 16$ als nicht optimal. Vor allem die Prüfung der Hypothesen H2_2d-e zum Einfluss der modellkonformen Werkzeugnutzung auf die mentale Modellbildung war davon betroffen. Hier erreichten die Mittelwertsunterschiede zwar eine beachtliche Effektgröße, unterschritten aber nicht die Signifikanzschwelle. Es hätte mindestens $N = 10$ Probanden je Teilstichprobe konformer und nonkonformer Toolnutzer gebraucht, um den Effekt vom Zufall abzugrenzen (Faul & Erdfelder, 1992). In Anbetracht der Drittelung der Gesamtstichprobe hätte es unter den gegebenen Umständen einer Verdoppelung der Erhebungsstichprobe auf mindestens $N = 196$ gebraucht. Dies war angesichts der verfügbaren Ressourcen nicht zu bewältigen. Eine Vergrößerung des Testpersonenumfanges würde darüber hinaus die Möglichkeit eröffnen, mittels multivariater Verfahren differenziertere Aussagen über den Beitrag einzelner unabhängiger Variablen auf die Lerneffekte treffen zu können. Eine erneute Durchführung der Experimente mit mehr Probanden ist somit ein erster Vorschlag weiterführender Forschungstätigkeit.

Abschließend ist ein grundlegendes Problem von Lernexperimenten mit digitalen Hilfsmitteln zu diskutieren. Da sich die lernförderliche Wirkung kognitiver Lernwerkzeuge erst entfaltet, wenn diese freiwillig angewendet werden (Jonassen, 1992), muss dieses Charakteristikum auch zwangsläufig Einzug in die Untersuchungsplanung finden. Zugleich ist es aber auch nur sinnvoll, ausschließlich solche Versuchspersonen mit in die Datenauswertung aufzunehmen, die ein angebotenes Lernwerkzeug auch nutzten, da sich sonst naturgegeben keine Effekte über sie ausweisen lassen. Dies führt in der Konsequenz zu der suboptimalen Situation, dass es innerhalb der experimentellen Variation zu schwer determinierbaren Selbstselektionseffekten in Bezug auf die Wahl und den Gebrauch eines Tools kommt. Dadurch ergibt sich innerhalb der experimentellen Variation eine zweite, quasiexperimentelle. Grundsätzlich kann dadurch nicht mehr ausgeschlossen werden, dass es sich bei den ermittelten lernförderlichen Effekten der Werkzeugnutzung um Scheineffekte handelt, die ausschließlich auf personenbezogenen Charakteristiken der selbstselektierten Teilstichprobe der Toolnutzer beruhen. Bei genauerer Betrachtung erweist sich dieses Grundsatzproblem in der vorliegenden Arbeit jedoch als relativ unbedeutend, da sich die Rate der Werkzeugnutzer mit durchschnittlichen 93% auf einem äußerst hohen Niveau bewegt. Zudem zeigen sich in den Hypothesen zu werkzeugspezifischen Effekten erwartungskonform unterschiedliche Befunde, was einem g-Faktor, basierend auf den Eigenschaften der Nutzerstichprobe, entgegensteht.

12 Fazit & Ausblick

Die in dieser Forschungsreihe genutzte Lernumgebung ist ein gelungenes Beispiel, wie das Verständnis vom Aufbau, der Funktionsweise und der Bedienung eines technischen Systems durch ein komplexes Computerprogramm bedeutend gefördert werden kann. Der Nachweis gelang durch eine Aufspaltung der Gesamtwirkung des hybriden Lernwerkzeuges in die Effekte seiner einzelnen Applikationen bezüglich verschiedener Teilfacetten des Lernerfolges.

Im Zuge der ersten drei Kapitel wurden die Bedingungen für eine solche Wirkung näher erläutert. Im Kern handelt es sich dabei um die konstruktivistisch geprägte Annahme, dass es auf jene Informationsverarbeitungsprozesse ankommt, die den Lerner in tiefreichende kognitive Aktivitäten verwickelt und die erst durch die Tools initiiert werden. Dies wiederum gelingt vor allem dann, wenn die Werkzeuge entsprechend der Annahmen Jonassens (1992) gestaltet sind, da sie individuelle Erkenntnisprozesse fördern, die letztlich der mentalen Modellbildung zuträglich sind (siehe Abschnitt 3.2). Die im Abschnitt 5.4 beschriebenen Computeranwendungen entsprachen im großen Maße diesen Annahmen. Darüber hinaus wurde bei ihrer Konstruktion darauf geachtet, dem Modalitäts- und Segmentierungsprinzip sowie dem Grundsatz der geführten Entdeckung Rechnung zu tragen (siehe Abschnitt 3.1). In diesem Sinne können die vorliegenden Ergebnisse als Bestätigung dieser Gestaltungshinweise betrachtet werden. Darüber hinaus erwies es sich als überaus hilfreich, dass der Toolkonstruktion ein etabliertes Lernmodell zu Grunde lag. Im vorliegenden Fall gelang es auf diese Weise, die mentale Modellbildung an mehreren Stellen des Lernprozesses zu fördern, was sich besonders an den Erfolgsdaten des kombinierten Werkzeugs gegenüber den Einzelapplikationen zeigte. In der Gesamtbetrachtung lässt sich an dieser Stelle festhalten, dass das Zusammenwirken von Lernziel, Lernmodell & Lernwerkzeug eine große Wirkung entfaltete und grundsätzlich zur Nachahmung empfohlen werden kann.

Nutzníeßer einer solchen Lernförderung können zuvorderst Personen sein, die berufsbedingt als Teil von Mensch-Maschine-Systemen agieren. Dazu gehören bspw. Flugzeug- Schiff- & Bahnführung, Verkehrsüberwachung und die Steuerung von industriellen Produktionsprozessen (vgl. Dieckmann & Wehner, 2002). Im Rahmen ihrer Aus- und Weiterbildung könnte eine Lernumgebung der vorliegenden Art eine ideale Ergänzung zum klassischen Präsenzunterricht sein. Aber auch gänzlich andere Kontexte wären für den Einsatz eines solchen hybriden Lernwerkzeuges denkbar. Dazu gehören grundsätzlich solche Personen, die mit nicht-technischen, aber deterministischen Systemen arbeiten, wie bspw. Human- und Veterinärärzte (vgl. Schütze et al., 2004) oder Architekten (vgl. Neufert & Kister, 2005). Im privaten Sektor sind ebenfalls verschiedene Nutzungsmöglichkeiten denkbar. Eine derzeit viel erörterte Domäne ist bspw. die Techniknutzung älterer Menschen bzw. ihr Fördern (Czaja, Sharit, Charness, Fisk & Rogers, 2001). Struve (2010) konnte bspw. im Rahmen ihrer Forschungsreihe anhand eines öffentlichen Fahrkartenautomaten den Nachweis erbringen, dass sich mit Hilfe spezifi-

scher Guided-error-Videotrainings die Bedienungsgüte und Akzeptanz älterer Menschen gegenüber technischen Geräten deutlich anheben lässt. Diese Lernumgebung ließe sich ohne größeren Aufwand um computergestützte Werkzeuge ergänzen, wie sie in der vorliegenden Arbeit zum Einsatz kamen. Da sie die gleiche Zielstellung (die Entwicklung eines viablen Handlungsplanes) auf völlig verschiedenen Wegen verfolgen (konstruktivistisch geprägte Computeranwendungen vs. behaviorismus-basierte Videos), würden sie sich prinzipiell gegenseitig gut ergänzen.

Neben einer möglichen Anwendung im Alltag ergibt die hier vorgestellte Forschungsarbeit auch Bedarf an weiterer Forschung. So kann aus den niedrigen Toolnutzungsdaten der STUDIE II bezüglich einer Kombination mehrerer Anwendungen der Schluss gezogen werden, dass es mehr bedarf, als diese ohne größere Anpassungen in eine hybride Lernumgebung zu überführen. Ob ein integriertes Werkzeug, das mit einer einzigen Abbildung alle bis dato separat angebotenen Funktionalitäten abdeckt, einen Ausweg aus diesem Dilemma bietet, ist empirisch bislang nicht geprüft und sollte Gegenstand zukünftiger Forschung sein. Unter Umständen erhöht sich so auch der Lernerfolg nochmals, da den Nutzern die Verknüpfung der verschiedenen visualisierten Informationen erleichtert wird und somit mehr kognitive Ressourcen für den Aufbau des mentalen Modells zur Verfügung stehen.

In diesem Zusammenhang wären auch Modifikationen an der Gestaltung der Tools bzw. der Lernumgebung denkbar. Hier besteht jedoch nach Ansicht des Autors kein dringender Forschungsbedarf. So untersuchten Römer (2005) und Schulz (2004) bereits die von Ayres & Mayer (2005) empfohlene simultane Darbietung der einzelnen Komponenten der Lernumgebung (Lernziel, Textbasis und Werkzeug) auf mehreren Bildschirmen und attestierten einen geringeren Lernerfolg als bei der konventionellen Variante. Ähnlich verhält es sich mit den Werkzeugen. Im Zuge der Vorgängerstudien wurden bereits ein digitales Werkzeug für Aufzeichnungen (Lewandrowski, 2002) als Ersatz für Papier & Bleistift untersucht sowie eine Abbildung der Anlage als Ersatz für das Beschriftungswerkzeug (unveröffentlicht; vgl. Bodemer & Faust, 2006). Auch die ältere Version des Operatorenwerkzeuges (Schulz, 2003) reiht sich hier mit ein. Aus dieser Perspektive sind die aktuell verwendeten Applikationen bereits das Resultat eines langwierigen Auswahlprozesses, deren hohe Qualität sich in den Nutzungs- und Lernerfolgsdaten widerspiegelt.

Eine noch weitreichendere Alternative bestünde außerhalb einer von der Systembedienung separierten Instruktion, wie sie gegenwärtig praktiziert wurde. In diesem Falle könnte auch eine integrierte Assistenzfunktion während der Handlungsausführung die nötigen Informationen bei Bedarf vermitteln, welche für die fehlerfreie und zügige Steuerung einer Anlage nötig sind. Bei Wandke (2005) findet sich diesbezüglich eine Taxonomie verschiedener Stadien der menschlichen Verhaltensweisen im Umgang mit technischen Systemen:

1. Aktivierung, Motivation und Zielbildung
2. Wahrnehmung
3. Informationsintegration, Situation Awareness
4. Entscheidung und Aktionsauswahl
5. Aktionsausführung
6. Verarbeitung der Rückmeldung über die Ergebnisse der Aktion

Die drei Lernwerkzeuge der vorliegenden Arbeit lassen sich recht gut in diese Klassifikation eingliedern. So ist das Beschriftungswerkzeug eine Hilfe zur *Informationsintegration* (Stadium 3). Hier geht es in erster Linie um das Erlernen basaler topologischer Informationen, die für das Verständnis der verschiedenen Systemzustände entscheidend sind. Dies könnte laut Wandke (2005) auch durch eine Label- oder Erklärungsassistenz erfolgen, die zugleich die Funktion der Textbasis in sich integrieren könnte. Das Operatorenwerkzeug wiederum findet sich in der *Entscheidung und Aktionsauswahl* (Stadium 4) wieder. Die Funktion, richtige Bedienoperationen in Abhängigkeit verschiedener Systemzustände zu wählen, kann auch durch eine Angebots- bzw. Vorschlagsassistenz erfüllt werden. Die Simulation, ein Werkzeug zum Üben der *Aktionsausführung* (Stadium 5), ließe sich durch eine Eingabeassistenz ersetzen. Ergänzt werden diese Überlegungen durch die Tatsache, dass sich Wandkes Taxonomie und das Lernmodell von de Kleer & Brown (1983) und Kieras (1988) nicht ausschließen, da ersteres eher technisch und letzteres rein inhaltlich geprägt ist. Eine vergleichende Studie zwischen den verschiedenen Unterstützungsparadigmen könnte zeigen, ob sie in ähnlicher Weise zur mentalen Modellbildung beitragen.

Von besonderem Interesse ist im Kontext der vorliegenden Forschungsergebnisse die populäre Generalkritik von Clark (1983; siehe Abschnitt 3.3), derzufolge "*...media do not influence learning under any conditions*" (S. 445). Kern dieser Argumentation ist seine empirisch gestützte Annahme, dass der digitale Charakter multimedialer Werkzeuge per se keinen Einfluss auf den Lernerfolg hat. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass die Funktionalität solcher Hilfsmittel entscheidend ist, welche prinzipiell auch in anderer Form (bspw. analog) realisiert werden könnte. Als Konsequenz stellt sich die Frage, ob die Wirkungen der aktuell verwendeten Tools auch auf anderem, konventionellen Wege hätten erreicht werden können. Prinzipiell steht dies für das Beschriftungswerkzeug wie auch das Operatorentool außer Frage. Ersteres findet sich vielfach in schulischen und akademischen Lehrbüchern (siehe Abschnitt 5.4.2). Auch die Zusammenstellung verschiedener Operatoren durch *ordered tree technique* ist mittels analoger Medien hinlänglich bekannt (Jonassen et al., 1993a). Und doch bietet die Digitalisierung solcher Lernhilfen den Lernenden offensichtlich eine Reihe von Vorteilen. Den Probanden der beiden hier vorgestellten Studien stand es schließlich frei, mit Papier & Bleistift den konventionellen Weg als Alternative zu den digitalen Hilfsmitteln zu wählen. Stattdessen nutzten fast alle Versuchspersonen die digitalen Werkzeuge und machten sich zumeist weit mehr Notizen als ohne diese multimediale Unterstützung. Offensichtlich führten erst die computergestützten Werkzeuge zu

einer allgemeinen Aktivierung, die die Probanden sonst nicht von sich aus zeigen würden. Aus Sicht der Lehrinstanz ergibt sich ebenfalls eine Reihe von Vorteilen. Diese reichen von mannigfaltigeren Möglichkeiten der gezielten Initiierung kognitiver Prozesse bis hin zur fehlerärmeren Speicherung und Auswertung der anfallenden Daten (siehe Kapitel 1). Dies gilt im besonderen Maße auch für die Simulation, deren analoge Alternative eine physisch vorhandene und voll funktionstüchtige technische Anlage bedeuten würde. Im Fazit widersprechen die hier gewonnenen Erkenntnisse der Grundhaltung Clarks (1983). Es macht zunächst sehr wohl einen Unterschied, ob die Funktionen der computergestützten Lernwerkzeuge auf multimedialem oder konventionellem Wege dargeboten werden. Allerdings steht der vollständige Nachweis dieser These noch aus. Dazu müssten in einer Vergleichsstudie vorgefertigte Formblätter bereitgestellt werden, in denen sich die Anlage ebenfalls beschriften lässt und die Bedienoperatoren manuell ordnen lassen. Konsequenterweise könnte zudem eine Miniaturanlage zur praktischen Umsetzung des Handlungsplanes als Alternative zum Simulationstool zur Verfügung stehen.

Abseits dieser These bleiben in der Nachbetrachtung einige weitere Fragen unbeantwortet. So ist durch das existierende Forschungsdesign nicht zu klären, wie groß die Langzeitwirkung des Gelernten ist. Eine Nacherhebung des Wissensstandes zu einem nachgelagerten zweiten Messzeitpunkt könnte hier Aufschluss geben. Ähnliches gilt auch für den Transfer des Erlernen auf andere, ähnlich aufgebaute technische Systeme. Dadurch ließe sich die Güte des mentalen Modells im Sinne seiner Übertragbarkeit gänzlich neu beurteilen. Desweiteren bedarf die vorliegende Laboruntersuchung einer erneuten Überprüfung unter realen Bedingungen. Es ist nicht auszuschließen, dass einige Probanden das Lernwerkzeug als erfolgsrelevanten Teil der Untersuchung wahrnahmen und mehr nutzten als sie es auf natürlichem Wege täten. Zugleich hatte die Lernmotivation einen artifiziellen, da extrinsisch motivierten Charakter. Der Lernerfolg war für die Probanden nur von geringem persönlichem Wert und hatte keine zu erwartenden Auswirkungen in ihrer Lebenswelt. Im Sinne der klassischen Motivationsprozessstheorie (Heckhausen & Heckhausen, 2010) fehlten dem Handeln der Versuchspersonen die für sie relevanten Handlungsergebnisfolgen. Und doch ist die Leistungssteigerung durch das kombinierte Lernwerkzeug von großer statistischer und praktischer Bedeutung. Wie sich demzufolge in einer klassischen Selbstlernsituation im Feld das Nutzungsverhalten und der Lernerfolg ändern, sollte in weiteren Studien erforscht werden. Angesichts der vorliegenden Daten ist zu erwarten, dass der Wissenszuwachs durch den Werkzeuggebrauch mindestens ähnlich hoch ausfällt, die Nutzungshäufigkeit und -qualität aber deutlich ansteigt, da dem Mehraufwand durch die Toolbedienung nun ein realer Wert (bspw. Arbeitserleichterung, Benotung, Vergütung) entgegensteht.

Zu guter Letzt fokussierte die vorliegende Untersuchung fast ausschließlich auf Eigenschaften der Lernwerkzeuge und ließ Charakteristika der Probanden zum Großteil außen vor. Gerade hier ist aber die Verknüpfung von lernerseitigen Voraussetzungen und Gestaltungsmerkmalen der Tools von besonderem Interesse. Dies gilt speziell für mögliche Determinanten der Anwender bzgl. ihres Nut-

zungsverhaltens, besonders der Güte und des relativen Zeitpunktes der Anwendung im Lernprozess, welches kritisch für die positive Wirkung der Werkzeuge ist.

Nichtsdestotrotz ist an dieser Stelle eine Antwort gegeben worden auf die Eingangsfrage „*Wie lässt sich das selbstgesteuerte, individuelle Lernen durch digitale Medien effektiv unterstützen?*“: Es braucht die Passung aus einem Instruktionsziel, einer zugehörigen Lerntheorie und entsprechend gestalteter Hilfsmittel. Alles Weitere liegt in den Händen der Nutzer.

Literaturverzeichnis

- AAAS (2005). *High School Biology Textbooks. A Benchmarks-Based Evaluation*. URL: <http://www.project2061.org/publications/textbook/hsbio/report/browse.htm> [Zuletzt geprüft am 14.07.09].
- Ackerman, P. L. (1989). *Individual differences and skill acquisition*. In Ackerman, P. L. (Hrsg.), *Learning and individual differences*, (S. 165–217), New York: Freeman.
- Aebli, H. (1980/1981). *Denkprozesse. Das Ordnen des Tuns*, Stuttgart,: Klett-Cotta.
- Ainsworth, S. E. (2006). *DeFT. A Conceptual Framework For Considering Learning with Multiple Representations*. *Learning and Instruction* (16), Nr. 3, (S. 183–198). URL: <http://www.psychology.nottingham.ac.uk/staff/sea/deft.pdf> [Zuletzt geprüft am 12.06.2009].
- Ainsworth, S. E. (2008). *How should we evaluate complex multimedia environments?* In Rouet, J.-F.; Lowe, R. und Schnotz, W. (Hrsg.), *Understanding multimedia documents*, (S. 249–265), Boston, MA: Springer Science+Business Media LLC.
- Ainsworth, S. E.; Bibby, P. A. und Wood, D. J. (1998). *Analysing the Costs and benefits of Multi-Representational Learning Environments*. In Someren, M. W. v.; Reimann, P. und Boshuizen, H. P. A. (Hrsg.), *Learning with multiple representations*, (S. 120–134), Amsterdam: Pergamon.
- Albrecht, J. E. und O'Brien, E. J. (1993). *Updating a mental model. Maintaining both local and global coherence*. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, Nr. 19, (S. 1061–1070).
- Alesandrini, K. L. (1984). *Pictures and adult learning*. *Instructional Science* (13), Nr. 1, (S. 63–77).
- Anderson, J. R. (1976). *Language, memory, and thought*, New York: Wiley-&-Sons.
- Anderson, J. R.; Funke, J. und Plata, G. (2007). *Kognitive Psychologie*, 6. Aufl., Berlin: Spektrum Akad. Verl. URL: <http://www.gbv.de/dms/bs/toc/529836963.pdf>.
- Artelt, C. (2000). *Wie prädiktiv sind retrospektive Selbstberichte über den Gebrauch von Lernstrategien für strategisches Lernen?* *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* (14), Nr. 2/3, (S. 72–84). URL: <http://www.psycontent.com/content/un18m13422719017/fulltext.html> [Zuletzt geprüft am 22.06.2011].
- Asendorpf, J. (2007). *Psychologie der Persönlichkeit*, Springer-Lehrbuch, 4., überarb. Aufl., Berlin: Springer Berlin.
- Atkinson, R. C. und Shiffrin, R. M. (1968). *Human memory. A proposed system and its control processes*. In Bower, G. H. und Spence, J. T. (Hrsg.), *Psychology of Learning and Motivation*, (S. 89–195), New York: Academic Press.
- Ayres, P. und Mayer, R. E. (2005). *The Split-Attention Principle in Multimedia Learning*. In Mayer, R. E. (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning*, (S. 135–146), Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Azevedo, R. und Jacobson, M. (2008). *Advances in scaffolding learning with hypertext and hypermedia. A summary and critical analysis. (gesamte Sonderausgabe)*. *Educational Technology Research and Development* (56), Nr. 1, (S. 93–100).

- Baartz, T. (2001). *Selbstgesteuertes Lernen aus Texten in computergestützter Lernumgebung*. unveröffentlichte Diplomarbeit, Berlin: HU Berlin.
- Baddeley, A. D. (1992). *Working memory. The Interface between Memory and Cognition*. Journal of Cognitive Neuroscience (4), Nr. 3, (S. 281–288). URL: <http://www.mitpressjournals.org/doi/pdf/10.1162/jocn.1992.4.3.281?cookieSet=1> [Zuletzt geprüft am 17.06.2009].
- Baddeley, A. D. (2007). *Working memory, thought, and action*, Oxford psychology series (Band 45), Oxford: Oxford Univ. Press. URL: <http://www.gbv.de/dms/bsz/toc/bsz26047701xinh.pdf>.
- Ballstaedt, S. -P.; Mandl, H.; Schnotz, W. und Tergan, S. -O (Hrsg.) (1981). *Texte verstehen, Texte gestalten*, München: Urban & Schwarzenberg.
- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action. A social cognitive theory*, Prentice-Hall series in social learning theory, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Bannan-Ritland, B.; Dabbagh, N. und Murphy, K. (2002). *Learning Object Systems as Constructivist Learning Environments. Related Assumptions, Theories and Applications*. In Wiley, D. A. (Hrsg.), *The instructional use of learning objects*, Bloomington, Ind.: Agency for Instructional Technology.
- Barab, S. A.; Young, M. F. und Wang, J. (1999). *The effects of navigational and generative activities in hypertext learning on problem solving and comprehension*. International Journal of Instructional Media (26), Nr. 3, (S. 283–309).
- Bartos, T. J. (2004). *Selbstgesteuertes und kooperatives Lernen mit Neuen Medien. Eine longitudinale Evaluation einer webbasierten Lernumgebung zur deskriptiven Statistik*, Hagen: Fernuniversität Hagen. URL: http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?idn=980151384&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=980151384.pdf [Zuletzt geprüft am 15.09.2009].
- Baumert, J.; Klieme, E.; Neubrand, M.; Prenzel, M.; Schiefele, U.; Schneider, W.; Tillmann, K. J. und Weiß, M. (2000). *Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen als fächerübergreifende Kompetenz. Projekt OEC PISA Deutschland*, Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung. URL: <http://www.mpib-berlin.mpg.de/Pisa/CCCDt.pdf> [Zuletzt geprüft am 16.09.2009].
- Bednar, A. K.; Cunningham, D.; Duffy, T. M. und Perry, J. D. (1992). *Theory into Practice. How Do We Link*. In Duffy, T. M. und Jonassen, D. H. (Hrsg.), *Constructivism and the technology of instruction*, (S. 17–34), Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Bell, D. (1999). *The coming of post-industrial society. A venture in social forecasting*, with a new foreword by the author., New York: Basic Books.
- Bera, S. J. (2004). *The Nature of Cognitive Tool Use in a Hypermedia Learning Environment*, Austin: University of Texas. URL: <http://hdl.handle.net/2152/2130> [Zuletzt geprüft am 14.09.2009].
- Berendt, B. (2006). *Lernwege und Metakognition. Logfile-Analysen zur Unterstützung aktiven und reflektiven Lernens*. In Berendt, B.; Voss, H.-P. und Wildt, J. (Hrsg.), *Neues Handbuch Hochschullehre*, Stuttgart: Raabe.
- Bernard, R. M.; Abrami, P. C.; Yiping, L.; Borokhovski, E.; Wade, A.; Wozney, L.; Wallet, P. A.; Fiset, M. und Binru, H. (2004). *How Does Distance Education Compare With Classroom Instruction? A Meta-Analysis of the Empirical Literature*. Review of Educational Research (74), Nr. 3, (S. 379–439).

- Bittroff, K. (2008). *Einfluss der Bereitstellung eines traditionellen kognitiven Lernwerkzeuges auf den Lernerfolg beim Verstehen eines Sachtextes*. unveröffentlichte Diplomarbeit, Berlin: HU Berlin.
- Blömeke, S. (2003). *Lehren und Lernen mit neuen Medien. Forschungsstand und Forschungsperspektiven*. Unterrichtswissenschaft (31), Nr. 1, (S. 57–82). URL: <http://www2.rz.hu-berlin.de/didaktik/data/aufsaeetze/2003/Aufsatz.Lehren.und.Lernen.mit.neuen.Medien.pdf> [Zuletzt geprüft am 1.7.09].
- Blumschein, P. (2004). *Eine Metaanalyse zur Effektivität multimedialen Lernens am Beispiel der Anchored Instruction*. Dissertation, Freiburg: Albert-Ludwigs Universität Freiburg. URL: <http://www.freidok.uni-freiburg.de/volltexte/1546/pdf/pbdissdez04.pdf> [Zuletzt geprüft am 01.07.09].
- Bodemer, D. und Faust, U. (2006). *External and mental referencing of multiple representations*. Computers in Human Behavior (22), (S. 27–42).
- Borgman, C. L. (1986). *The user's mental model of an information retrieval system*. International Journal of Man-Machine Studies, Nr. 24, (S. 47–64).
- Bortz, J. (2005). *Statistik für Sozialwissenschaftler*, Berlin: Springer.
- Bortz, J. und Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation*, Berlin: Springer.
- Bredenkamp, J. (1980). *Theorie und Planung psychologischer Experimente*, Darmstadt: Steinkopff.
- Brickell, G.; Ferry, B. und Harper, B. *Developing informal reasoning skills in ill-structured environments. A case study into problem-solving strategies*. In ASCILITE (Hrsg.). (2003), *Proceedings from the 19th Annual Conference of the Australasian Society for Computers in Learning in Tertiary Education*, Auckland, New Zealand, (S. 65–73). URL: <http://www.ascilite.org.au/conferences/auckland02/proceedings/papers/094.pdf> [Zuletzt geprüft am 21.09.2009].
- Broadbent, D. E.; Fitzgerald, P. und Broadbent, M. H. P. (1986). *Implicit and explicit knowledge in the context of complex systems*. British Journal of Psychology (1), Nr. 77, (S. 33–50).
- Brünken, R.; Plass, J. L. und Leutner, D. (2003a). *Direct Measurement of Cognitive Load in Multimedia Learning*. Educational Psychologist (38), Nr. 1, (S. 53–61). URL: [http://www.metaphoricalgraphics.com/ReadingList/Cog%20load%20in%20multimedia%20learning%20-%20Brunken%20\(2003\).pdf](http://www.metaphoricalgraphics.com/ReadingList/Cog%20load%20in%20multimedia%20learning%20-%20Brunken%20(2003).pdf) [Zuletzt geprüft am 22.06.09].
- Brünken, R.; Plass, J. und Leutner, D. (2003b). *How instruction guides attention in multimedia learning*. In Niegemann, H.; Brünken, R. und Leutner, D. (Hrsg.), *Instructional design for multimedia learning*, (S. 113–126), Münster: Waxmann.
- Brünken, R.; Steinbacher, S.; Schnotz, W. und Leutner, D. (2001). *Mentale Modelle und Effekte der Präsentations- und Abrufkodalität beim Lernen mit Multimedia*. Zeitschrift für Pädagogische Psychologie (15), Nr. 200, (S. 16–27).
- Carley, K. und Palmquist, M. (1992). *Extracting, Representing, and Analyzing Mental Models*. Social Forces (70), Nr. 3, (S. 601–636).
- Ceci, S. J. & L. J. K. (1986). *A day at the races. A study of IQ, expertise, and cognitive complexity*. Journal of Experimental Psychology (11), Nr. 5, (S. 255–266).

- Clark, H. H. (1977). *Bridging*. In Johnson-Laird, P. N. und Wason, P. (Hrsg.), *Thinking*, (S. 411–420), Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Clark, R. E. (Hrsg.) (2001). *Learning from media. Arguments, analysis and evidence*, Greenwich, CT: Information Age Publ.
- Clark, R. C.; Nguyen, F. und Sweller, J. (2006). *Efficiency in learning. Evidence-based guidelines to manage cognitive load*, San Francisco, Calif.: Pfeiffer. URL: <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0622/2005010921-d.html>.
- Clark, R. E. (1983). *Reconsidering Research on Learning from Media*. Review of Educational Research (53), Nr. 4, (S. 445–459). URL: <http://rer.sagepub.com/cgi/reprint/53/4/445.pdf> [Zuletzt geprüft am 26.06.09].
- Clark, R. E. (1985). *Evidence for Confounding in Computer-Based Instruction Studies. Analyzing the Meta-Analyses*. Educational Technology Research and Development (33), Nr. 4, (S. 249–262). URL: <http://www.springerlink.com/content/e46480u4x92553h2/fulltext.pdf> [Zuletzt geprüft am 26.06.09].
- Clark, R. E. (1994). *Media Will Never Influence Learning*. Educational Technology Research and Development (42), Nr. 2, (S. 1042–1629). URL: <http://www.springerlink.com/content/681t5680047393j5/fulltext.pdf> [Zuletzt geprüft am 26.06.09].
- Clark, R. E. und Feldon, D. F. (2005). *Five Common but Questionable Principles of Multimedia Learning*. In Mayer, R. E. (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning*, (S. 97–116), Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*, 2. ed., [Nachdr.], Hillsdale, NJ: Erlbaum. URL: <http://www.gbv.de/dms/bowker/toc/9780805802832.pdf>.
- Cohen, R. L. (1989). *Memory for action events. The power of enactment*. Educational Psychology Review (1), Nr. 1, (S. 57–80).
- Collins, A.; Brown, J. S. und Larkin, K. M. (1980). *Inference in text understanding*. In Spiro, R. J.; Bruce, B. C. und Brewer, W. F. (Hrsg.), *Theoretical issues in reading comprehension*, (S. 385–407), Hillsdale: L. Erlbaum Associates.
- Colquitt, J. A. und Simmering, M. J. (1998). *Conscientiousness, goal orientation, and motivation to learn during the learning process. A longitudinal study*. Journal of Applied Psychology (83), Nr. 4, (S. 654–665).
- Cooke, N. J. (1994). *Varieties of knowledge elicitation techniques*. International Journal for Human-Computer Studies (41), Nr. 6, (S. 801–849).
- Cooke, N. J. (1999). *Knowledge Elicitation*. In Durso, F. T. und Nickerson, R. S. (Hrsg.), *Handbook of applied cognition*, (S. 479–509), Chichester: Wiley. URL: <http://cerici.org/documents/Publications/Durso%20chapter%20on%20KE.pdf> [Zuletzt geprüft am 23.06.09].
- Cooke, N. J. und Breedin, S. D. (1994). *Constructing naive theories of motion on-the-fly*. Memory and Cognition (22), Nr. 4, (S. 474–493).
- Craik, F. I. M. und Lockhart, R. S. (1972). *Levels of processing. A framework for memory research*. Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior (11), Nr. 6, (S. 671–684).

- Craik, K. (1943). *The Nature of Explanation*, Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Cullen, J. und Bryman, A. (1988). *The knowledge acquisition bottleneck. A time for reassessment?* Expert Systems (5), Nr. 3, (S. 216–225).
- Czaja, S. J.; Sharit, J.; Charness, N.; Fisk, A. D. und Rogers, W. (2001). *The Center for Research and Education on Aging and Technology Enhancement (CREATE): A program to enhance technology for older adults*. Gerontechnology (1), Nr. 1, (S. 50–59).
- Daniels, K.; Chematony, L. de und Johnson, G. (1995). *Validating a method for mapping managers' mental models of competitive industry structures*. Human Relations (48), Nr. 9, (S. 975–991).
- Dean, R. S. und Kulhavy, R. W. (1981). *Influence of spatial organization in prose learning*. Journal of Educational Psychology (73), Nr. 1, (S. 57–64).
- DESTATIS (2010). *Unternehmen und Arbeitsstätten 2009. Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologie in Unternehmen*, Wiesbaden.
- Dieckmann, P. und Wehner, T. (2002). *Über Grundsätze zur Gestaltung von Simulatorsettings für Forschung und Lehre*, Nr. 31, Hamburg: Technische Universität Hamburg-Harburg. URL: <http://psydok.sulb.uni-saarland.de/volltexte/2005/478/pdf/hb31.pdf> [Zuletzt geprüft am 15.07.2009].
- Diehl, V. A. und Mills, C. B. (1995). *The effects of interaction with the device described by procedural text on recall, true/false, and task performance*. Memory and Cognition (23), Nr. 6, (S. 675–688).
- Dijk, T. A. van (1977). *Semantic macro-structures and knowledge frames in discourse comprehension*. In Just, M. A. und Carpenter, P. A. (Hrsg.), *Cognitive Processes in Comprehension*, (S. 3–33), Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Dijk, T. A. van und Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*, New York Academic Press,.
- Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung*, Kohlhammer-Standards PsychologieStudientext, Stuttgart: Kohlhammer.
- Doyle, J. K. und Ford, D. N. (1999). *Mental models concepts revisited. Some clarifications and a reply to Lane*. Systems Dynamics Review (15), Nr. 4, (S. 411–415).
- Duffy, T. M. und Jonassen, D. H. (1992). *New Implications for Instructional Technology*. In Duffy, T. M. und Jonassen, D. H. (Hrsg.), *Constructivism and the technology of instruction*, (S. 1–16), Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Dutke, S. (1996). *Generic and generative knowledge. Memory schemata in the construction of mental models*. In Battmann, W. und Dutke, S. (Hrsg.), *Processes of the molar regulation of behavior*, (S. 35–54), Lengerich: Pabst Science Publ.
- Dutke, S. (1998). *Zur Konstruktion von Sachverhaltsrepräsentationen beim Verstehen von Texten*. Zeitschrift für Experimentelle Psychologie, 45, 42-59. Fünfzehn Jahre nach Johnson-Lairds Mental Models. Zeitschrift für experimentelle Psychologie (45), Nr. 1, (S. 42–59).
- Eckardt, G. (2010). *Kernprobleme in der Geschichte der Psychologie*, 1. Aufl., Wiesbaden: VS-Verl.

- Eckert, A. (1998). *Kognition und Wissensdiagnose. Die Entwicklung und empirische Überprüfung des computerunterstützten wissensdiagnostischen Instrumentariums Netzwerk-Elaborierungs-Technik (NET)*, Lengerich: Pabst.
- Edelmann, W. (1996). *Lernpsychologie*, 5., vollst. überarb. Aufl., Weinheim: Beltz Psychologie-Verl.-Union.
- Elshout, J. J. (1992). *Formal Education vs. Everyday Learning*. In Corte, E. de und Linn, M. C. (Hrsg.), *Computer-based learning environments and problem solving*, (S. 5–17), Berlin: Springer.
- Ericsson, K. A. und Lehmann, A. C. (1996). *Expert and exceptional performance. Maximal adaptation to task constraints*. *Annual Review of Psychology* (47), (S. 273–305).
- Ericsson, K. A. und Simon, H. A. (1999). *Protocol analysis. Verbal reports as data*, Rev. ed., 3. print., Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Faremo, S. (2004). *Problem-solving and post-problem reflection in BioWorld. Doctoral Dissertation*, Montreal: McGill University.
- Faul, F. und Erdfelder, E. (1992). *GPOWER. A priori, post-hoc, and compromise power*, 2.0. Auflage, Bonn. URL: <http://www.psych.uni-duesseldorf.de/aap/projects/gpower/binaries/gpsetup/GP-setup.exe> [Zuletzt geprüft am 03.05.2010].
- Faure, E.; Herrera, F. und Kaddoura, A.-R. (1975). *Learning to be. The world of education today and tomorrow*, 6. impr., Paris: Unesco. URL: <http://unesdoc.unesco.org/images/0000/000018/001801e.pdf> [Zuletzt geprüft am 10.12.2010].
- Field, A. P. (2005). *Discovering statistics using SPSS. (and sex, drugs and rock'n'roll)*, ISM, Introducing statistical methods, 2. ed., reprinted., London: Sage Publ. URL: <http://www.gbv.de/dms/hbz/toc/ht014416889.pdf>.
- Fiske, D. W. (1987). *Construct Invalidity Comes From Method Effects*. *Educational and Psychological Measurement* (47), Nr. 2, (S. 285–307).
- Fletcher-Flinn, C. M. und Gravatt, B. (1995). *The Efficacy of Computer Assisted Instruction (CAI). A Meta-Analysis*. *Journal of Educational Computing Research* (12), Nr. 3, (S. 219–241).
- Flindt, N. (2005). *e-learning. Theoriekonzepte und Praxiswirklichkeit. Dissertation*, Heidelberg: Universität Heidelberg. URL: http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/volltextserver/volltexte/2006/6907/pdf/Diss_Flindt.pdf [Zuletzt geprüft am 28.05.2010].
- Fluckiger, F. (1996). *Multimedia im Netz*, München: Prentice Hall.
- Galvão, J. R.; Martins, P. G. und Gomes, M. R. (2000). *Modeling reality with simulation games for a cooperative learning*. In Joines, J. A.; Barton, R. R.; Kang, K. und Fishwick, P. A. (Hrsg.), *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, (S. 1692–1698), Omnipress; New York: Association for Computing Machinery. URL: <http://delivery.acm.org/10.1145/520000/510626/p1692-galvao.pdf?key1=510626&key2=6934996421&coll=GUIDE&dl=GUIDE&CFID=44537768&CFTOKEN=43659366> [Zuletzt geprüft am 07.07.09].
- Gao, T. und Lehman, J. D. (2003). *The Effects of Different Levels of Interaction on the Achievement and Motivational Perceptions of College Students in a Web-Based Learning Environment*. *Journal of Interactive Learning Research*, Nr. 4, (S. 367–386). URL:

<http://www.thefreelibrary.com/The+effects+of+different+levels+of+interaction+on+the+achievement+and...-a0114743685>.

- Geiwitz, J.; Kornell, J. und McCloskey, B. (1990). *An Expert System for the Selection of Knowledge Acquisition Techniques*. Technical Report, Nr. 785-2, Santa Barbara, CA: Anacapa Sciences, Inc.
- Gentner, D. und Gentner, D. R. (1983). *Flowing waters and teeming crowds. Mental models of electricity*. In Gentner, D. und Stevens, A. L. (Hrsg.), *Mental models*, (S. 99–129), Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Glenberg, A.; Meyer, M. und Lindem, K. (1987). *Mental models contribute to foregrounding during text comprehension*. *Journal of Memory and Language*, Nr. 26, (S. 69–83).
- Grabowski, B. L. (2004). *Generative learning contributions to the design of instruction and learning*. In Jonassen, D. H. (Hrsg.), *Handbook of research on educational communications and technology*, (S. 719–744), Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Hacker, W. (2005). *Allgemeine Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit*, Schriften zur Arbeitspsychologie (Band 58), 2., vollst. überarb. und erg. Aufl., Bern: Huber. URL: <http://www.gbv.de/dms/hebis-darmstadt/toc/132888203.pdf>.
- Häfele, H. und Maier-Häfele, K. (2008). *101 e-Learning Seminarmethoden. Methoden und Strategien für die Online- und Blended-Learning-Seminarpraxis*, 3., überarb. Aufl., Bonn: managerSeminare-Verl. URL: <http://www.gbv.de/dms/ilmenau/toc/559930461.PDF>.
- Halasz, F. G. und Moran, T. P. (1983). *Mental models and problem solving in using a calculator*. In Janda, A. (Hrsg.), *Proceedings of CHI'83 human factors in computing systems*, (S. 212–216), New York: Association for Computing Machinery. URL: http://portal.acm.org/ft_gateway.cfm?id=801613&type=pdf&coll=GUIDE&dl=GUIDE&CFID=27649954&CFTOKEN=19134323 [Zuletzt geprüft am 21.3.2009].
- Harsdörffer, G. P. (1647). *Poetischer Trichter. Die Teutsche Dicht- und Reimkunst / ohne Behuf der Lateinischen Sprache/ in VI. Stunden einzugiessen. Samt einem Anhang von der Rechtschreibung / und Schriftscheidung / oder Distinction*, Nürnberg: Bibliothek des Germanischen Nationalmuseums.
- Hart, S. und Staveland, L. (1988). *Development of NASA-TLX (Task Load Index). Results of empirical and theoretical research*. In Hancock, P. A. (Hrsg.), *Human mental workload*, (S. 139–183), Amsterdam: North-Holland.
- Hays, R. T. und Singer, M. J. (1989). *Simulation fidelity in training system design. Bridging the gap between reality and training*, Recent research in psychology, New York: Springer.
- Heckhausen, J. und Heckhausen, H. (2010). *Motivation und Handeln*, Springer-Lehrbuch, 4., überarbeitete und erweiterte Auflage., Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-12693-2>.
- Hede, A. (2002). *An integrated model of multimedia effects on learning*. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia* (11), Nr. 2, (S. 177–191).
- Hegarty, M. (1991). *Knowledge and processes in mechanical problem solving*. In Stemberg, R. J. und Frensch, P. A. (Hrsg.), *Complex problem solving*, (S. 253–285), Hillsdale: Erlbaum.
- Heilig, M. (1955). *El cine de futuro*, Mexico City: Espacios.

- Helmke, A. (1992). *Selbstvertrauen und schulische Leistungen*, Göttingen: Hogrefe.
- Hinze, U. (2008). *Computerbasiertes kooperatives Lernen (CSCL) als technische und pädagogische Herausforderung*. In Gross, F.; Marotzki, W. und Sander, U. (Hrsg.), *Internet - Bildung - Gemeinschaft*, (S. 241–261), Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften | GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
- Hoffman, R. R.; Shadbolt, N. R.; Burton, A. M. und Klein, G. (1995). *Eliciting knowledge from experts. A methodological analysis*. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* (62), Nr. 2, (S. 129–158).
- Hokanson, B. und Hooper, S. (2000). *Computers as cognitive media. examining the potential of computers in education*. *Computers in Human Behavior*, Nr. 16, (S. 537–552).
- Hone, G. und Stanton, N. A. (2004). *HTA. The development and use of tools for Hierarchical Task Analysis in the Armed Forces and elsewhere*. URL: <http://www.hfidtc.com/pdf/reports/HTA%20report.pdf> [Zuletzt geprüft am 14.07.2009].
- Hornbæk, K. (2006). *Current practice in measuring usability. Challenges to usability studies and research*. *International Journal of Human-Computer Studies*, Nr. 64, (S. 79–102).
- Howe, M. J. A. (1970). *Using students' notes to examine the role of the individual learner in acquiring meaningful subject matter*. *Journal of Educational Research* (64), Nr. 2, (S. 61–63).
- Hyde, T. S. und Jenkins, J. J. (1969). *Differential effects of incidental tasks on the organization of recall of a list of highly associated words*. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, Nr. 83, (S. 472–481).
- IBM (2008). *Unlocking the DNA of the Adaptable Workforce. The Global Human Capital Study 2008*, k.A. URL: <http://www-935.ibm.com/services/us/gbs/bus/pdf/g510-6647-00.pdf> [Zuletzt geprüft am 27.05.2010].
- Ifenthaler, D. (2006). *Diagnose lernabhängiger Veränderung mentaler Modelle. Entwicklung der SMD-Technologie als methodologisches Verfahren zur relationalen, strukturellen und semantischen Analyse individueller Modellkonstruktionen. Dissertation*, Freiburg: Ludwigs-Universität. URL: <http://www.freidok.uni-freiburg.de/volltexte/2744/> [Zuletzt geprüft am 25.06.09].
- Iiyoshi, T. und Hannafin, M. J. (1996). *Cognitive tools for learning from, hypermedia. Empowering learners. Paper presented at the annual meeting of the Association for Educational Communications and Technology*, Indianapolis.
- Iiyoshi, T. und Hannafin, M. J. (1998). *Cognitive Tools for Open-Ended Learning Environments. Theoretical and Implementation Perspectives*, San Diego.
- Iiyoshi, T.; Hannafin, M. J. und Wang, F. (2005). *Cognitive tools and student centred learning. re-thinking tools, functions and applications*. *Educational Media International* (42), Nr. 4, (S. 281–296).
- Interactive Multimedia Learning Laboratory (1996). *Exploring the Nardoo*, Belconnen, Australia: Interactive Multimedia Pty, Ltd. URL: <http://www.emlab.uow.edu.au/products/nardoo.html> [Zuletzt geprüft am 21.09.2009].
- Issing, L. J und Klimsa, P. (Hrsg.) (2002). *Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis*, 3., vollst. überarb. Aufl., Weinheim: Beltz PVU. URL: <http://www.gbv.de/dms/bsz/toc/bsz096361425inh.pdf>.

- Jechle, T. (1998). *Zur Nutzung von Lernhilfen in Lehrtexten*. Unterrichtswissenschaft (26), Nr. 1, (S. 15–31).
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models. Towards a cognitive science of language, inference and consciousness*, Cognitive science series (Band 6), Cambridge, Mass.: Harvard Univ. Press.
- Jonassen, D. H. (1984). *Effects of Generative Text Processing Strategies on Recall and Retention*. Human Learning, Nr. 3, (S. 241–256).
- Jonassen, D. H. (1992). *What are cognitive tools?* In Kommers, P. A. M.; Jonassen, D. H. und Mayes, J. T. (Hrsg.), *Cognitive Tools for Learning*, (S. 1–6), Berlin: Springer.
- Jonassen, D. H. (1999). *Designing constructivist learning environments*. In Reigeluth, C. M. (Hrsg.), *Instructional-Design Theories and Models*, (S. 215–239), Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Jonassen, D. H. (2000). *Computers as mindtools for schools. Engaging critical thinking*, 2.ed., Upper Saddle River, NJ: Merrill.
- Jonassen, D. H. und Cho, Y. H. (2008). *Externalizing Mental Models with Mindtools*. In Ifenthaler, D.; Pirnay-Dummer, P.; Spector, J. M. und Seel, N. M. (Hrsg.), *Understanding Models for Learning and Instruction*, (S. 145–159), Boston, MA: Springer Science+Business Media LLC.
- Jonassen, D. H. und Reeves, T. C. (1996). *Learning with technology. Using computers as cognitive tools*. In Jonassen, D. H. (Hrsg.), *Handbook of research for educational communications and technology*, (S. 693–719), New York: Macmillan Library Reference USA.
- Jonassen, D. H.; Beissner, K. und Yacci, M. (1993a). *Structural knowledge. Techniques for representing, conveying, and acquiring structural knowledge*, Hillsdale, NJ: LEA Lawrence Erlbaum Associates. URL: <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0745/92043332-d.html>.
- Jonassen, D. H.; Beissner, K. und Yacci, M. (1993b). *Structural knowledge. Techniques for representing, conveying, and acquiring structural knowledge*, Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Jonassen, D. H.; Carr, C. und Yueh, A. P. (1998). *Computers as Mindtools for Engaging Learners in Critical Thinking*. TechTrends (43), Nr. 2, (S. 24–32).
- Jong, T. de (2005). *The Guided Discovery Principle in Multimedia Learning*. In Mayer, R. E. (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning*, (S. 215–228), Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Jong, T. de; Ainsworth, S. E.; Dobson, M.; Hulst, A. van der; Levonen, J.; Reimann, P.; Sime, J.-A.; Someren, M. W. v.; Spada, H. und Swaak, J. (1998). *Acquiring Knowledge in Science and Mathematics. The Use of Multiple representations in Technology-Based Learning Environments*. In Someren, M. W. v.; Reimann, P. und Boshuizen, H. P. A. (Hrsg.), *Learning with multiple representations*, (S. 9–40), Amsterdam: Pergamon.
- Joolingen, W. van (1999). *Cognitive tools for discovery learning*. International Journal of Artificial Intelligence in Education, Nr. 10, (S. 385–397). URL: http://ai.ed.ac.uk/members99/archive/vol_10/joolingen/full.html.
- Joy, E. H., II und Garcia, F. E. (2000). *Measuring Learning Effectiveness. A New Look at Non-Significant-Difference Findings*. Journal of Asynchronous Learning Networks (4), Nr. 1, (S. 33–39). URL: http://sloan-c.org/publications/jaln/v4n1/pdf/v4n1_joygarcia.pdf [Zuletzt geprüft am 26.06.09].

- Kahl, S. (2006). *Einfluss einer zusätzlichen Lernzielinstruktion auf Nutzungsweisen eines kognitiven Lernwerkzeugs*. unveröffentlichte Diplomarbeit, Berlin: HU Berlin.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*, Prentice Hall series in experimental psychology, Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Kalyuga, S.; Ayres, P.; Chandler, P. und Sweller, J. (2003). *Expertise reversal effect*. *Educational Psychologist* (38), (S. 23–31).
- Kannheiser, W. (2006). *Methoden für die Planung, Gestaltung und Evaluation von Mensch-Maschine-Systemen*. In Zimolong, B.; Konradt, U. und Birbaumer, N. (Hrsg.), *Ingenieurpsychologie*, (S. 322–355), Göttingen: Hogrefe.
- Kelly, G. A. (1955). *The Psychology of Personal Constructs*, New York: Norton.
- Kieras, D. E. (1988). *What Mental Model should be taught. Choosing Instructional Content for Complex Engineered Systems*. In Psotka, J. und Massey, L. D. (Hrsg.), *Intelligent tutoring systems*, (S. 85–111), Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates Publ.
- Kieras, D. E. und Bovair, S. (1984). *The role of a mental model in learning to operate a device*. *Cognitive Science*, Nr. 8, (S. 255–273).
- Kim, B. und Reeves, T. C. (2007). *Reframing research on learning with technology. technology: in search of the meaning of cognitive tools*. *Instructional Science* (35), Nr. 3, (S. 207–256).
- Kintsch, E. und Kintsch, W. (1995). *Strategies to Promote Active Learning from Text*. *Swiss Journal of Psychology*, Nr. 54, (S. 141–151).
- Kintsch, W. (1998). *Comprehension. A paradigm for cognition*, Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Kintsch, W. und Dijk, T. A. van (1978). *Toward a model of text comprehension and production*. *Psychological Review* (85), Nr. 5, (S. 363–394).
- Kintsch, W. und Keenan, J. M. (1973). *Reading rate as a function of the number of propositions in the base structure of sentences*. *Cognitive Psychology*, Nr. 5, (S. 257–274).
- Kirschner, P. A. (2002). *Cognitive load theory. implications of cognitive load theory on the design of learning. Guest editorial*. *Learning and Instruction* (12), Nr. 1, (S. 1–10).
- Kleer, J. de und Brown, J. S. (1983). *Assumptions and Ambiguities in Mechanistic Mental Models*. In Gentner, D. und Stevens, A. L. (Hrsg.), *Mental models*, (S. 155–190), Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Kluge, A. (2004). *Wissenserwerb für das Steuern komplexer Systeme*, Lengerich: Pabst. URL: <http://www.gbv.de/dms/bs/toc/383087775.pdf>.
- Kluwe, R. H. und Haider, H. (1990). *Modelle zur internen Repräsentation komplexer technischer Systeme*. *Sprache und Kognition*, Nr. 9, (S. 173–192).
- Köhler, T.; Kahnwald, N. und Reitmaier, M. (2008). *Lehren und Lernen mit Multimedia und Internet*. In Batinic, B. und Appel, M. (Hrsg.), *Medienpsychologie*, (S. 477–501), Heidelberg: Springer Medizin.
- Köhler, W. (1929). *Gestalt psychology*, New York: Liveright.

- Kozma, R. B. (1987). *The implications of cognitive psychology for computer-based learning tools*. Educational Technology (27), Nr. 11, (S. 20–25).
- Kozma, R. B. (1992). *Constructing knowledge with learning tool*. In Kommers, P. A. M.; Jonassen, D. H. und Mayes, J. T. (Hrsg.), *Cognitive Tools for Learning*, (S. 23–32), Berlin: Springer.
- Kozma, R. B. (1994). *Will Media Influence Learning? Reframing the Debate*. Educational Technology Research and Development (42), Nr. 2, (S. 7–19). URL: http://robertkozma.com/images/kozma_will_media_influence.pdf.
- Kritzenberger, H. (2005). *Multimediale und interaktive Lernräume*, München: Oldenbourg.
- Kruskal, J. B. und Wish, M. (2005). *Multidimensional scaling*, [Nachdr.], Newbury Park, Calif.: Sage Publ.
- Kuhlen, R. (1991). *Hypertext. Ein nichtlineares Medium zwischen Buch und Wissenschaft*, Berlin: Springer.
- Kulik, C. L. und Kulik, J. A. (1991). *Effectiveness of computer-based instruction. An updated analysis*. Computers in Human Behavior (7), Nr. 1/2, (S. 75–94). URL: <http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/2027.42/29534/1/0000622.pdf> [Zuletzt geprüft am 26.06.09].
- Kulpa, Z. (1994). *Diagrammatic Representation and Reasoning*. Machine Graphic and Vision (3), Nr. 1/2, (S. 77–103).
- Lajoie, S. P. (1993). *Computer environments as cognitive tools for enhancing learning*. In Lajoie, S. P. und Derry, S. (Hrsg.), *Computers as cognitive tools*, (S. 261–288), Hillsdale: Erlbaum.
- Lajoie, S. P. und Derry, S. (Hrsg.) (1993). *Computers as cognitive tools*, Hillsdale: Erlbaum.
- Lajoie, S. P.; Lavigne, N. C.; Guerrero, C. und Munsie, S. (2001). *Constructing knowledge in the context of BioWorld*. Instructional Science (29), Nr. 2, (S. 155–186).
- Land, S. M. (2000). *Cognitive Requirements for Learning with Open-Ended Learning Environments*. Educational Technology, Research and Development (48), Nr. 3, (S. 61–78). URL: <http://www.springerlink.com/content/e271r654564h34x9/fulltext.pdf> [Zuletzt geprüft am 14.09.2009].
- Langan-Fox, J.; Code, S. und Langfield-Smith, K. (2000). *Team Mental Models. Techniques, Methods, and Analytic Approaches*. Human Factors (42), Nr. 2, (S. 242–271).
- Larkin, J. H. und Simon, H. A. (1987). *Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words*. Cognitive Science (11), Nr. 1, (S. 65–99).
- Lee, H. W. und Grabowski, B. L. (2009). *Generative Learning Strategies and Metacognitive Feedback to Facilitate Comprehension of Complex Science Topics and Self-Regulation*. Journal of Educational Multimedia and Hypermedia (18), Nr. 1, (S. 5–25). URL: <http://www.personal.psu.edu/hul135/data/545Journal%20Article.pdf> [Zuletzt geprüft am 12.06.2009].
- Leonhart, R. und Lichtenberg, S. (2004). *Lehrbuch Statistik. Einstieg und Vertiefung*. URL: http://ba-thueringen.ciando.com/shop/book/index.cfm/fuseaction/show_book/bok_id/25456.

- Lesgold, A. M.; Roth, S. F. und Curtis, M. E. (1979). *Foregrounding effects in discourse comprehension*. Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, Nr. 18, (S. 291–308).
- Leshin, C. B.; Pollock, J. und Reigeluth, C. M. (1994). *Instructional design strategies and tactics*, 2. print., Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publ.
- Lewandrowski, C. (2002). *Evaluation eines Zeichenprogramms als grafisches Lernwerkzeug am Computer*. unveröffentlichte Diplomarbeit, Berlin: HU Berlin.
- Li, R. (2005). *The effects of databases as cognitive tools in a multimedia problem-based learning environment*, Austin: University of Texas. URL: <http://hdl.handle.net/2152/1616> [Zuletzt geprüft am 14.09.2009].
- Liao, Y.-K. C. (1999). *Effects of Hypermedia on Students' Achievement: A Meta-Analysis*. Journal of Research on Computing in Education (8), Nr. 3, (S. 255–277).
- Linn, M. C.; Clark, D. und Slotta, J. D. (2003). *WISE design for knowledge integration*. Science Education (87), Nr. 4, (S. 517–538).
- Liu, L.; Marathe, S. und Hmelo-Silver, C. E. (2006). *Effects of Conceptual Representation on Learning from Hypermedia*. In Barab, S. A.; Hay, K. E. und Songer, N. B. (Hrsg.), *Making a Difference*, (S. 439–445), Bloomington, Indiana: International Society of the Learning Sciences. URL: <http://www.rci.rutgers.edu/~reptools/ICLS06.pdf>.
- Liu, M. und Bera, S. (2005). *An Analysis of Cognitive Tool Use Patterns in A Hypermedia Learning Environment*. Educational Technology Research and Development (53), Nr. 1, (S. 5–21).
- Liu, M.; Horton, L. R.; Corliss, S. B.; Svinicki, M. D.; Bogard, T.; Kim, J. und Chang, M. (2009). *Students' Problem Solving as Mediated by Their Cognitive Tool Use. A Study of Tool Use Patterns*. Journal of Educational Computing Research (40), Nr. 1, (S. 111–139).
- Liu, M.; Williams, D. und Pedersen, S. (2002). *Alien Rescue. A Problem-Based Hypermedia Learning Environment for Middle School Science*. Journal of Educational Technology Systems (30), Nr. 3, (S. 255–270).
- Liu, R.; Chen, Q. und Reid, D. (2000). *The impact of a computer-based illustrating tool on constructing meaning from text*. Proceedings of ICEUT'2000, (S. 58–61).
- Locke, E. A. und Latham, G. P. (1990). *A theory of goal setting & task performance*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Lockhart, R. S.; Craik, F. I. M. und Jacoby, L. L. (1976). *Depth of processing recognition and recall*. In Brown, J. (Hrsg.), *Recall and recognition*, (S. 75–102), London: Wiley.
- Lockwood, F. (1992). *Activities in self-instructional texts*, Open and distance learning series, East Brunswick N.J.: Nichols Pub.; Kogan Page published in association with the Institute of Educational Technology Open University.
- Lompscher, J. (1995). *Erfassung von Lernstrategien mittels Fragebogen*. LLF-Berichte, Nr. 10, Potsdam: Interdisziplinäres Zentrum für Lern- und Lehrforschung
- Low, R. und Mayer, R. E. (2005). *The Modality Principle in Multimedia Learning*. In Mayer, R. E. (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning*, (S. 147–158), Cambridge: Cambridge Univ. Press.

- Maier-Häfele, K. und Häfele, H. (2005). *Open-Source-Werkzeuge für e-Trainings. Übersicht, Empfehlungen und Anleitungen für den sofortigen Seminareinsatz*, Bonn: ManagerSeminare Verlags GmbH. URL: <http://www.gbv.de/dms/bsz/toc/bsz115296433inh.pdf>.
- Majewski, A. (2002). *Förderung des aktiven Lernens aus Texten in computerunterstützter Lernumgebung durch kognitive Lernwerkzeuge. Einfluss der Bereitstellung eines Beschriftungstools auf Lernerfolg und Lernaktivität. unveröffentlichte Diplomarbeit*, Berlin: HU Berlin.
- Marks, D. F. (1990). *On the relationship between imagery, body, and mind*. In Hampson, P. J.; Marks, D. F. und Richardson, J. T. E. (Hrsg.), *Applying cognitive psychology to user-interface design*, Chichester: Wiley.
- Martens, R. und Valcke, M. (1993). *Validation of a theory about the functions and effects of embedded support devices in written study materials*. In M. Valcke und F. Lockwood (Hrsg.), *Research in relation to new developments in distance education materials*, (S. 65–84), Heerlen: Open University of the Netherlands.
- Martens, R.; Valcke, M.; Poelmans, P. und Daal, M. (1996). *Functions, use and effects of embedded support devices in printed distance learning materials*. *Learning and Instruction* (6), Nr. 1, (S. 77–93).
- Masunaga, H. und Horn, J. (2001). *Expertise and age-related changes in components of intelligence*. *Psychology and Aging* (16), Nr. 2, (S. 293–311).
- Maturana, H. und Varela, F. (1984). *El árbol del conocimiento*, Santiago de Chile: Editorial universitaria.
- Mayer, R. E. (1999). *Designing instruction for constructivist learning*. In Reigeluth, C. M. (Hrsg.), *Instructional-Design Theories and Models*, (S. 141–159), Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Mayer, R. E. (Hrsg.) (2005a). *The Cambridge handbook of multimedia learning*, Cambridge: Cambridge Univ. Press. URL: <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0733/2005001322-b.html>.
- Mayer, R. E. (2005b). *Cognitive Theory of Multimedia Learning*. In Mayer, R. E. (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning*, (S. 31–48), Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Mayer, R. E. (2005c). *Principles for Managing Essential Processing in Multimedia Learning. Segmenting, Pretraining, and Modality Principles*. In Mayer, R. E. (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning*, (S. 169–182), Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Mayer, R. E. (2005d). *The Cambridge handbook of multimedia learning*, Cambridge: Cambridge Univ. Press. URL: <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0733/2005001322-b.html>.
- Mayer, R. E. (2005e). *The Redundancy Principle in Multimedia Learning*. In Mayer, R. E. (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning*, (S. 159–168), Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Mayer, R. E. und Chandler, P. (2001). *When Learning Is Just a Click Away. Does simple User Interaction Foster Deeper Understanding of Multimedia Messages?* *Journal of Educational Psychology* (93), Nr. 2, (S. 390–397).
- Mayes, J. T. (1992). *Cognitive Tools. A suitable case for learning*. In Kommers, P. A. M.; Jonassen, D. H. und Mayes, J. T. (Hrsg.), *Cognitive Tools for Learning*, (S. 7–18), Berlin: Springer.

- Mayes, J. T. (1994). *The 'M-Word'. Multimedia Interfaces and Their Role in Interactive Learning Systems*. In Edwards, A. D. und Holland, S. (Hrsg.), *Multimedia interface design in education*, (S. 1–22), Berlin: Springer.
- McKoon, G. und Ratcliff, R. (1992). *Inference during reading*. *Psychological Review* (99), Nr. 3, (S. 440–466).
- McNamara, D. S.; Kintsch, E.; Songer, N. B. und Kintsch, W. (1996). *Are good texts always better? Interactions of text coherence, background knowledge, and levels of understanding in learning from text*. *Learning and Instruction* (14), Nr. 1, (S. 1–43).
- Mead, G. H. (1934). *Mind, self, and society. From the standpoint of a social behaviorist*, Chicago: Univ. of Chicago Press.
- Merrienboer, J. J. G. van und Ayres, P. (2005a). *Research on Cognitive Load Theory and Its Design Implications for E-Learning*. *Educational Technology, Research and Development* (53), Nr. 3, (S. 5-13, gesamte Sonderausgabe).
- Merrienboer, J. J. G. van und Kester, L. (2005b). *The Four-Component Instructional Design Model. Multimedia Principles in Environments for Complex Learning*. In Mayer, R. E. (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning*, (S. 71–96), Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Merrienboer, J. J. G. van; Kirschner, P. A. und Kester, L. (2003). *Taking the load off a learner's mind. Instructional design for complex learning*. *Educational Psychologist* (38), Nr. 1, (S. 5–13).
- Merrienboer, J. J. G. van; Schuurman, J. G.; Croock, M. B. de und Paas, F. G. (2002). *Redirecting learners' attention during training. effects on cognitive load, transfer test performance and training efficiency*. *Learning and Instruction* (12), Nr. 1, (S. 11–37).
- Meyer, B. J. F. (1975). *The organization of prose and its effect upon memory*, Amsterdam: North Holland.
- Meyer, M. A. (1992). *How to apply the anthropological technique of participant observation to knowledge acquisition for expert systems*. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* (22), (S. 983–990).
- Midoro, V.; Olimpo, G.; Persico, D. und Sarti, L. (1991). *Multimedia navigable systems and Artificial Intelligence*. In Lewis, R. und Otsuki, S. (Hrsg.), *Advanced research on computers in education*, (S. 179–184), Amsterdam: North-Holland.
- Miller, G. A. (1956). *The magical number seven, plus or minus two. Some limits on our capacity for processing information*. *Psychological Review* (63), Nr. 2, (S. 81–97). URL: <http://www.musanim.com/miller1956/> [Zuletzt geprüft am 16.09.2009].
- Minsky, M. (1975). *A framework for representing knowledge*. In Winston, P. H. (Hrsg.), *The psychology of computer vision*, (S. 211–277), New York: McGraw-Hill.
- Mohr, B. (2005). *Blended Learning. eine Weiterbildungsalternative für KMU?* In Breitner, M. H. und Hoppe, G. (Hrsg.), *E-Learning*, (S. 471–477), Heidelberg: Physica-Verlag Heidelberg.
- Morrow, D. G. (1994). *Spatial models created from text*. In Oostendorp, H. v. und Zwaan, R. A. (Hrsg.), *Naturalistic text comprehension*, (S. 57–78), Norwood, N.J: Ablex Pub.
- Neufert, E. und Kister, J. (2005). *Bauentwurfslehre. Grundlagen, Normen, Vorschriften über Anlage, Bau, Gestaltung, Raumbedarf, Raumbeziehungen, Maße für Gebäude, Räume, Einrichtungen, Ge-*

- räte ; mit dem Menschen als Maß und Ziel ; Handbuch für den Baufachmann, Bauherrn, Lehrenden und Lernenden., 38., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl., Wiesbaden: Vieweg. URL: http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?id=2657500&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm.
- Newell, A. und Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*, Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Nieke, W. (2008). *Allgemeinbildung durch informationstechnisch vermittelte Netzinformation und Netzkommunikation*. In Gross, F.; Marotzki, W. und Sander, U. (Hrsg.), *Internet - Bildung - Gemeinschaft*, (S. 145–167), Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften | GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
- Norman, D. A. (1983). *Some observations on mental models*. In Gentner, D. und Stevens, A. L. (Hrsg.), *Mental models*, (S. 7–14), Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Norman, D. A. und Bobrow, D. G. (1975). *On data-limited and resource limited processes*. *Cognitive Psychology* (7), Nr. 1, (S. 44–64).
- Norman, D. A.; Rumelhart, D. E.; Abrahamson, A. A. und Aebli, H. (1978). *Strukturen des Wissens. Wege der Kognitionsforschung*, Stuttgart: Klett-Cotta.
- Ohtsuka, K. und Brewer, W. F. (1992). *Discourse organization in the comprehension of temporal order in narrative texts*. *Discourse Processes* (15), Nr. 3, (S. 317–336).
- Oliver, K. und Hannafin, M. J. (2000). *Student management of Web-based hypermedia resources during open-ended problem-solving*. *Journal of Educational Research* (94), Nr. 2b, (S. 75–92).
- Orthey, F. M. (2005). *betriebe lernen systeme. Wie sich Unternehmen durch Lernen verändern. Habilitationsschrift*, Bielefeld: Universität Bielefeld. URL: http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=979485053&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=979485053.pdf [Zuletzt geprüft am 07.04.2009].
- Paas, F. G.; Renkl, A. und Sweller, J. (2003). *Cognitive Load Theory and Instructional Design. Recent Developments*. *Educational Psychologist* (38), Nr. 1, (S. 1-4, gesamte Sonderausgabe).
- Paivio, A. (1986). *Mental representations. A dual coding approach*, Oxford psychology series (Band 9), New York: Oxford Univ. Pr. URL: <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0635/85018743-t.html>.
- Payne, S. J. (2008). *Mental Models in Human-Computer-Interaction*. In Sears, A. und Jacko, J. A. (Hrsg.), *The human-computer interaction handbook*, (S. 63–76), New York: Erlbaum.
- Payne, S. J.; Squibb, H. R. und Howes, A. (1990). *The Nature of Device Models. The Yoked State Space Hypothesis and Some Experiments With Text Editors*. *Human-Computer Interaction* (5), Nr. 4, (S. 415–444). URL: http://dx.doi.org/10.1207/s15327051hci0504_3 [Zuletzt geprüft am 15.07.2009].
- Pechmann, T. und Engelkamp, J. (1993). *Mentale Repräsentationen. Verschiedene Sichtweisen eines Begriffs*. In Engelkamp, J. und Pechmann, T. (Hrsg.), *Mentale Repräsentation*, (S. 162–175), Bern: Huber.
- Peper, R. J. und Mayer, R. E. (1986). *Generative effects of note-taking during science lectures*. *Journal of Educational Psychology* (78), Nr. 1, (S. 34–38).
- Peylo, C. (2002). *Wissen und Wissensvermittlung im Kontext von internetbasierten intelligenten Lehr- und Lernumgebungen*, Berlin: Akad. Verl.-Ges. Aka.

- Pfleger, C. (2003). *Die Didaktik des Fernunterrichts in Formalerschließung unter besonderer Berücksichtigung von Lernprogrammen*, Berlin: Logos.
- Pollock, E.; Chandler, P. und Sweller, J. (2002). *Assimilating complex information*. Learning and Instruction (12), Nr. 1, (S. 61–86).
- Porat, M. U. (1977). *The Information Economy: Definition and Measurement*, Washington, DC.: Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 20402.
- Pospeschill, M. (2006). *Statistische Methoden. Strukturen, Grundlagen, Anwendungen in Psychologie und Sozialwissenschaften*, 1. Aufl., München: Elsevier Spektrum Akad. Verl. URL: <http://www.gbv.de/dms/bs/toc/50901089x.pdf>.
- Quillian, M. R. (1969). *The teachable language comprehender*. Communications of the Association for Computing Machinery (12), (S. 459–476).
- Rasmussen, J. (1979). *On the structure of knowledge. A morphology of mental models in a man-machine system context*, Roskilde, Denmark. URL: http://130.226.56.153/rispubl/reports_INIS/RISOM2192.pdf [Zuletzt geprüft am 23.06.2011].
- Ravenscroft, A. (2003). *From conditioning to learning communities. implications of fifty years of research in e-learning interaction design*. Association for Learning Technology Journal (11), Nr. 3, (S. 4–18). URL: http://repository.alt.ac.uk/410/1/ALT_J_Vol11_No3_2003_From%20conditioning%20to%20learning%20.pdf [Zuletzt geprüft am 11.05.2010].
- Reitman, J. S. und Rueter, H. H. (1980). *Organization revealed by recall orders and confirmed by pauses*. Cognitive Psychology (12), Nr. 4, (S. 554–581).
- Rey, G. D. (2008). *Lernen mit Multimedia. Die Gestaltung interaktiver Animationen. Dissertation*, Trier: Universität Trier. URL: http://ubt.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2008/450/pdf/Lernen_mit_Multimedia.pdf [Zuletzt geprüft am 04.06.2009].
- Rheinberg, F.; Vollmeyer, R. und Burns, B. D. (2001). *FAM. Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen. (Langversion, 2001)*. Diagnostica (47), Nr. 2, (S. 57–66). URL: <http://www.psych.uni-potsdam.de/people/rheinberg/messverfahren/FAMLangfassung.pdf>.
- Richter, T. (2003). *Epistemologische Einschätzungen beim Textverstehen. Univ., Diss.--Köln, 2003.*, Aktuelle psychologische Forschung (Band 39), Lengerich: Pabst Science Publ.
- Rinck, M. (2000). *Situationsmodelle und das Verstehen von Erzähltexten. Befunde und Probleme*. Psychologische Rundschau (51), Nr. 3, (S. 115–122). URL: <http://psycontent.metapress.com/content/45466x4882805746/fulltext.html> [Zuletzt geprüft am 7.5.2009].
- Ringelband, O. J.; Misiak, C. und Kluwe, R. H. (1990). *Mental models and strategies in the control of a complex system*. In Ackermann, D. und Tauber, M. J. (Hrsg.), *Mental models and human-computer interaction I*, (S. 151–164), Amsterdam, Oxford: North-Holland.
- Rohr, M. und Reimann, P. (1998). *Reasoning with Multiple Representations when Acquiring the Particulate Model of Matter*. In Someren, M. W. v.; Reimann, P. und Boshuizen, H. P. A. (Hrsg.), *Learning with multiple representations*, (S. 41–66), Amsterdam: Pergamon.

- Römer, C. (2005). *Effekte eines kognitiven Lernwerkzeuges auf Lernaktivität, Lernstrategie und Textverständnis. unveröffentlichte Diplomarbeit*, Berlin: HU Berlin.
- Roth, G. (2005). *Das Gehirn und seine Wirklichkeit. Kognitive Neurobiologie und ihre philosophischen Konsequenzen*, Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft (Band 1275), 1. Aufl., [Nachdr.], Frankfurt am Main: Suhrkamp-Taschenbuch-Verl.
- Rowe, A. L. und Cooke, N. J. (1995). *Measuring Mental Models. Choosing the Right Tools for the Job*. Human Resource Development Quarterly (6), Nr. 3, (S. 243–255).
- Sachs, L. (2000). *Angewandte Statistik. Anwendung statistischer Methoden*, Berlin: Springer. URL: <http://www.gbv.de/dms/hbz/toc/ht013812919.pdf>.
- Salas, E. und Cannon-Bowers, J. A. (2001). *The science of training. A decade of progress*. Annual Review of Psychology (52), Nr. 1, (S. 471–499).
- Salas, E.; Bowers, C. A. und Rhodenizer, L. (1998). *It is Not How Much You Have but How You Use It. Toward a Rational Use of Simulation to Support Aviation Training*. International Journal of Aviation Psychology (8), Nr. 3, (S. 197–208).
- Salomon, G. (1984). *Television is "easy" and print is "tough". The differential investment of mental effort in learning as a function of perceptions and attributions*. Journal of Educational Psychology (76), Nr. 4, (S. 647–658).
- Sanford, A. J. und Garrod, S. C. (1981). *Understanding written language. Explorations of comprehension beyond the sentence*, Chichester: Wiley.
- Sanford, A. J. und Garrod, S. C. (1982). *Towards a processing account of reference*. In Flammer, A. und Kintsch, W. (Hrsg.), *Discourse processing*, (S. 100–110), Amsterdam: North-Holland Publ. Co.
- Saunders, D. (1988). *Preface*. In Coote, D.; Crookall, A. und Saunders, D. (Hrsg.), *Learning from Experience Through Games and Simulations*, (S. 9–12), Loughborough: SAGSET.
- Scaife, M. und Rogers, Y. (1996). *External cognition. How do graphical representation work?* International Journal of Human Computer Studies (45), Nr. 2, (S. 185–213).
- Schank, R. C. und Abelson, R. P. (1977). *Scripts, plans, goals and understanding. An inquiry into human knowledge structures*, The artificial intelligence series, Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Schement, J. R. (1990). *Porat, Bell, and the information society reconsidered: The growth of information work in the early twentieth century*. Information Processing and Management (26), Nr. 4, (S. 449–465).
- Schiefele, U. (1991). *Interest, learning, and motivation*. Educational Psychologist (26), Nr. 3, (S. 209–216).
- Schiefele, U. und Schreyer, I. (1994). *Intrinsische Lernmotivation und Lernen. Ein Überblick zu Ergebnissen der Forschung*. Zeitschrift für Pädagogische Psychologie (8), Nr. 1, (S. 1–13).
- Schmidt, R. A. und Bjork, R. A. (1992). *New Conceptualizations of practice. Common principles in three paradigms suggest new concepts for training*. Psychological Science (3), Nr. 4, (S. 207–217).

- Schnotz, W. (1994). *Aufbau von Wissensstrukturen. Untersuchungen zur Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten*, Fortschritte der psychologischen Forschung (Band 20), Weinheim: Beltz Psychologie-Verl.-Union.
- Schnotz, W. (2002). *Wissenserwerb mit Texten, Bildern und Diagrammen*. In Issing, L. J. und Klimsa, P. (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet*, (S. 65–81), Weinheim: Beltz PVU.
- Schnotz, W. (2005). *An Integrated Model of Text and Picture Comprehension*. In Mayer, R. E. (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning*, (S. 49–70), Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Schnotz, W. und Bannert, M. (2003). *Construction and interference in learning from multiple representation*. *Learning and Instruction* (13), Nr. 2, (S. 141–156).
- Schoemann, M. (1995). *Knowledge organization of novices and advanced programmers. Effect on previous knowledge on recall and recognition of LISP-procedures*. In Wender, K. F.; Schmalhofer, F. und Böcker, H.-D. (Hrsg.), *Cognition and computer programming*, (S. 193–217), Norwood, N.J.: Ablex Publ. Corp.
- Scholl, W.; Pelz, J.; Rade, J. und Broge, B. (1996). *Computervermittelte Kommunikation in der Wissenschaft*, Münster: Waxmann. URL: <http://www.gbv.de/dms/hbz/toc/ht007301257.pdf>.
- Schröder, T.; Gläs, K.; Nachtwei, J. und Schermuly, C. (8.2.2010). *Expertendelphi Personalentwicklung 2020. Ergebnisrückmeldung zur Abschlussrunde des Expertendelphi „Personalentwicklung 2020“*. URL: <http://www.tschroeder.eu/publikationen/pe2020.pdf> [Zuletzt geprüft am 27.05.2010].
- Schulmeister, R. (2007). *Grundlagen hypermedialer Lernsysteme. Theorie - Didaktik - Design*, 4., überarb. und aktualisierte Aufl., München: Oldenbourg. URL: <http://www.gbv.de/dms/ilmenau/toc/525484469.PDF>.
- Schulz, A. (2003). *Wirkungsanalyse eines kognitiven Lernwerkzeugs zur Teilzielbildung beim Verstehen eines Sachtextes. unveröffentlichte Diplomarbeit*, Berlin: HU Berlin.
- Schulz, M. (2004). *Verstehendes Lernen unter Anwendung kognitiver Lernwerkzeuge. unveröffentlichte Diplomarbeit*, Berlin: HU Berlin.
- Schütze, B.; Kroll, M.; Lipinski, H. G. und Filler, T. J. (2004). *Mobiles computerbasiertes Lernen in der anatomischen Lehre*. In Höpfner, H. und Saake, G. (Hrsg.), *Grundlagen und Anwendungen mobiler Informationstechnologie*, (S. 104–113), Magdeburg: Otto-von-Guericke-Universität. URL: <http://www.bayer.in.tum.de/aktuelles/GI-Workshop/themen/schuetze.pdf> [Zuletzt geprüft am 14.07.2009].
- Schvaneveldt, R. W. (1990). *Pathfinder associative networks. Studies in knowledge organization*, Norwood, NJ: Ablex Publ. Corp. URL: <http://www.zentralblatt-math.org/zmath/en/search/?an=0755.68130>.
- Seufert, T. und Brünken, R. (2004). *Supporting coherence formation in multimedia learning*. In Gerjets, P.; Kirschner, P. A.; Elen, J. und Joiner, R. (Hrsg.), *Instructional design for effective and enjoyable computer-supported learning*, (S. 138–147), Tübingen: Knowledge Media Research Center. URL: http://www.iwm-kmrc.de/workshops/SIM2004/pdf_files/Seufert_et_al.pdf [Zuletzt geprüft am 14.07.2009].

- Seufert, T.; Zander S. und Brünken R. (2007). *Das Generieren von Bildern als Verstehenshilfe beim Lernen aus Texten*. Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie (39), Nr. 1, (S. 33–42).
- Shapiro, A. M. (1998). *Promoting active learning: The role of system structure in learning from hypertext*. Human-Computer Interaction, Nr. 13, (S. 1–35).
- Sime, J.-A. (1998). *Model Switching in a Learning Environment based on Multiple Models*. Interactive Learning Environments (5), Nr. 1, (S. 109–124). URL: <http://dx.doi.org/10.1080/1049482980050108> [Zuletzt geprüft am 10.4.2010].
- Sime, J.-A. *Learning with qualitative models and cognitive support tools. the learners' experiences*. In Bredeweg, B. (Hrsg.). (2002), *Model based systems and qualitative reasoning for intelligent tutoring systems*, San Sebastian, Spain, (S. 85–95).
- Singer, M. (1996). *Comprehending consistent and inconsistent causal text sequences. A construction-integration analysis*. Discourse Processes (21), Nr. 1, (S. 1–21).
- Singer, M.; Graesser, A. C. und Trabasso, T. (1994). *Minimal or global inference during reading*. Journal of Memory and Language (33), Nr. 4, (S. 421–441).
- Snelbecker, G. E. (1983). *Is Instructional Theory Alive and Well?* In Reigeluth, C. M. (Hrsg.), *Instructional-design theories and models*, (S. 436–472), Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Spangler, W. D. (1992). *Validity of Questionnaire and TAT Measures of Need for Achievement. Two Meta-Analyses*. Psychological Bulletin (112), Nr. 1, (S. 140–154).
- Spiel, C. und von-Eye, A. (1994). *Textverständnis bei Schülern. Ergebnisse einer Untersuchungsreihe*. In Olechowski, R. und Rollett, B. (Hrsg.), *Theorie und Praxis*, (S. 118–125), Frankfurt/Main: Peter Lang.
- Spiro, R. J. und Jehng, J. C. (1990). *Cognitive flexibility and hypertext*. In Nix, D. und Spiro, R. J. (Hrsg.), *Cognition, education, and multimedia*, (S. 163–205), Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine Modelltheorie*, Wien: Springer. URL: http://www.gbv.de/dms/weimar/toc/024950270_toc.pdf.
- Stanton, N. A. (2005). *Human factors methods. A practical guide for engineering and design*, Aldershot: Ashgate. URL: <http://www.gbv.de/dms/hebis-mainz/toc/134984986.pdf>.
- Stefanou, C.; Hoffman, L. und Vielee, N. (2008). *Note-taking in the college classroom as evidence of generative learning*. Learning Environments Research (11), Nr. 1, (S. 1–17). URL: <http://www.springerlink.com/content/j8517553pj740n80/fulltext.pdf> [Zuletzt geprüft am 12.06.2009].
- Stenning, K. und Oberlander, J. (1995). *A cognitive theory of graphical and linguistic reasoning. logic and implementation*. Cognitive Science (19), Nr. 1, (S. 97–140).
- Stiller, K. D.; Freitag, A.; Zinnbauer, P. und Freitag, C. (2009). *How pacing of multimedia instructions can influence modality effects. A case of superiority of visual texts*. Australasian Journal of Educational Technology (25), Nr. 2, (S. 184–203). URL: <http://www.ascilite.org.au/ajet/ajet25/stiller.pdf> [Zuletzt geprüft am 14.07.2009].

- Struve, D. (2010). *Instruktionsdesign für ältere Nutzer interaktiver Systeme. Gestaltungsaspekte modellbasierter Lernvideos in multimedialen Bedientrainings*. Humboldt-Univ., Diss.--Berlin., Wissensprozesse und digitale Medien (Band 16), Berlin: Logos-Verl. URL: http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=3487524&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm.
- Sweller, J. (1988). *Cognitive load during problem solving. Effects on learning*. Cognitive Science (12), Nr. 2, (S. 257–285).
- Sweller, J. (1999). *Instructional design*, Australian education review (Band 43), Camberwell: ACER Press.
- Sweller, J. (2005). *Implications of Cognitive Load Theory for Multimedia Learning*. In Mayer, R. E. (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning*, (S. 19–30), Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Tardieu, H.; Ehrlich, M. F. und Gyselinek, V. (1992). *Levels of representation and domain-specific knowledge in comprehension of scientific texts*. Language and Cognitive Processes (7), Nr. 3-4, (S. 335–351).
- Taylor, F. W. (1911). *The principles of scientific management*, London: Harper & Brothers.
- Tulving, E. und Thompson, D. M. (1973). *Encoding, specificity and retrieval processes in episodic memory*. Psychological Review (80), (S. 352–373).
- Utman, C. H. (1997). *Performance Effects of Motivational State. A Meta-Analysis 1997*. Personality and Social Psychology Review (1), Nr. 2, (S. 170–182).
- Vogel, J. J.; Vogel, D. S.; Cannon-Bowers, J.; Bowers, C. A.; Muse, K. und Wright, M. (2006). *Computer Gaming and Interactive Simulations for Learning. A Meta-Analysis*. Journal of Educational Computing Research (34), Nr. 3, (S. 229–243).
- Volk, C. und Ritchie, D. (1999). *Comparison of Generative Learning Strategies*. Proceedings of Selected Research and Development, Houston: School Science and Mathematics. URL: http://www.eric.ed.gov/ERICDocs/data/ericdocs2sql/content_storage_01/0000019b/80/15/f6/6a.pdf [Zuletzt geprüft am 12.06.2009].
- Wandke, H. (2005). *Assistance in human-machine interaction. a conceptual framework and a proposal for a taxonomy*. Theoretical Issues in Ergonomics Science (6), Nr. 2, (S. 129–155).
- Wang, J.; Young, M. F.; Barab, S. A. und Guan, Y. *The Effects of Goal Intentions on Problem Solving and Reading Comprehension in Generative Hypertext Processing*. In AECT (Hrsg.). (1999), *National Convention of the Association for Educational Communications and Technology*, Houston: Association for Educational Communications and Technology. URL: <http://eric.ed.gov/ERICWebPortal/contentdelivery/servlet/ERICServlet?accno=ED436174> [Zuletzt geprüft am 11.04.2010].
- Watson, J. B. (1968). *Behaviorismus*, Köln: Kiepenheuer & Witsch.
- Weber, M. (1922). *Wirtschaft und Gesellschaft*, Tübingen: J. C. B. Mohr (P. Siebeck).
- Weidenmann, B. (1994). *Informierende Bilder*. In Weidenmann, B. (Hrsg.), *Wissenserwerb mit Bildern*, (S. 9–58), Bern: Huber.

- Weidenmann, B. (2002). *Multicodierung und Multimodalität im Lernprozess*. In Issing, L. J. und Klimsa, P. (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet*, (S. 45–64), Weinheim: Beltz PVU.
- Weinert, F. E. (1988). *Jenseits des Glaubens an notwendige und hinreichende Bedingungen schulischen Lernens*. In Lompscher, J.; Jantos, W. und Schönian, S. (Hrsg.), *Psychologische Methoden der Analyse und Ausbildung der Lernfähigkeit*, (S. 116–139), Berlin: Gesellschaft für Psychologie der DDR.
- Weinert, F. E. (1996). *Lerntheorien und Instruktionsmodelle*. In Weinert, F. E.; Birbaumer, N. und Graumann, C. F. (Hrsg.), *Psychologie des Lernens und der Instruktion*, (S. 1–47), Göttingen: Hogrefe Verl. für Psychologie.
- Weinert, F. E. und Helmke, A. (1995). *Interclassroom differences in instructional quality and interindividual differences.pdf*. *Educational Psychologist* (30), Nr. 1, (S. 15–20).
- Weinert, F. Emanuel; Birbaumer, N. und Graumann, C. Friedrich (Hrsg.) (1996). *Psychologie des Lernens und der Instruktion*, Enzyklopädie der Psychologie/Praxisgebiete/Pädagogische Psychologie (Band / in Verbindung mit der Deutschen Gesellschaft für Psychologie hrsg. von Niels Birbaumer ... ; Themenbereich D; Ser. 1; Bd. 2), Göttingen: Hogrefe Verl. für Psychologie. URL: <http://www.gbv.de/dms/hebis-mainz/toc/049210882.pdf>.
- Wenke, D.; Frensch, P. A. und Funke, J. (2005). *Complex Problem Solving and Intelligence. Empirical Relation and Causal Direction*. In Sternberg, R. J. und Pretz, J. E. (Hrsg.), *Cognition and intelligence*, (S. 160–187), Cambridge: Cambridge Univ. Press. URL: http://cogprints.org/6626/1/Wenke_Frensch_Funke_CPS_2005.PDF [Zuletzt geprüft am 01.04.2010].
- Wernke, S. (2009). *Handlungsnahe Erfassung von Lernstrategien mit Fragebögen*. In Hellmich, F. und Wernke, S. (Hrsg.), *Lernstrategien im Grundschulalter*, (S. 45–60), Stuttgart: Kohlhammer.
- Westermann, R. (2000). *Wissenschaftstheorie und Experimentalmethodik. Ein Lehrbuch zur psychologischen Methodenlehre*, Göttingen: Hogrefe. URL: <http://www.dandelon.com/intelligentSEARCH.nsf/alldocs/4EFDB942EBC6A82BC1256D2E00495388/>.
- Westhoff, K. und Bühner, M. (2010). *Grundwissen für die berufsbezogene Eignungsbeurteilung nach DIN 33430*, 3., überarb. Aufl., Lengerich: Pabst.
- Wild, K. P. und Schiefele, U. (1994). *Lernstrategien im Studium. Ergebnisse zur Faktorenstruktur und Reliabilität eines neuen Fragebogens*. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie* (15), (S. 185–200).
- Wild, K. P.; Schiefele, U. und Winteler, A. (1992). *LIST. Ein Verfahren zur Erfassung von Lernstrategien im Studium. Arbeiten zur Empirischen Pädagogik und Pädagogischen Psychologie*, Nr. 20, Neubiberg: Gelbe Reihe
- Wipper, A. (2004). *Förderung aktiven Textlernens durch computergestützte kognitive Lernwerkzeuge*, dissertation.de (Band 923), Berlin: dissertation.de. URL: <http://www.gbv.de/dms/hebis-darmstadt/toc/121997405.pdf>.
- Witrock, M. C. (1974). *Learning as a generative process*. *Educational Psychologist* (11), Nr. 2, (S. 87–95).

-
- Wittrock, M. C. (1990). *Generative processes of comprehension*. Educational Psychologist (24), Nr. 4, (S. 345–376).
- Wittrock, M. C. (1992). *Generative learning processes of the brain*. Educational Psychologist (27), Nr. 4, (S. 531–541).
- Woolf, B.; Blegen, D.; Jansen, J. H. und Verloop, A. (1987). *Teaching a complex industrial process*. In Lawler, R. W. und Yazdani, M. (Hrsg.), *Learning environments and tutoring systems*, (S. 413–427), Norwood, NJ: Ablex Publ.
- Young, R. M. (1981). *The machine inside the machine. Users' models of pocket calculators*. International Journal of Man-Machine Studies (15), Nr. 1, (S. 51–85).
- Ziegler, M.; Schmidt-Atzert, L.; Buehner, M. und Krumm, S. (2007). *Fakability of Different Measurement Methods for Achievement Motivation. Questionnaire, Semi-projective, and Objective*. Psychology Science (49), Nr. 4, (S. 291–307). URL: <http://www.psychologie.hu-berlin.de/prof/dia/pdf-dokumente/publikationen2007/Fakability.pdf> [Zuletzt geprüft am 11.03.2010].
- Zumbach, J. (2009). *The role of graphical and text based argumentation tools in hypermedia learning*. Computers in Human Behavior (25), Nr. 1, (S. 811–817).
- Zumbach, J.; Reimann, P. und Moayer, M. (2002). *Wissenserwerb mit Geschäftsprozessmodellen. Eine empirische Studie zum Lernen mit grafischen Prozessvisualisierungen*. Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (98), Nr. 3, (S. 421–433).

Anhang

Anhang A - Versuchsmaterialien

Tab. A1: Items des Fragebogens zur Eingangsmotivation FAM

Item	Skala
1. Ich mag solche technischen Problemstellungen.	I
2. Ich glaube, der Schwierigkeit dieser Aufgabe gewachsen zu sein.	E
3. Wahrscheinlich werde ich die Aufgabe nicht schaffen.	E (-)
4. Ich fühle mich unter Druck, bei der Aufgabe gut abschneiden zu müssen.	M
5. Die Aufgabe ist eine richtige Herausforderung für mich.	H
6. Nach dem Lesen der Instruktion erscheint mir die Aufgabe sehr interessant.	I
7. Ich bin sehr gespannt darauf, wie gut ich hier abschneiden werde.	H
8. Ich fürchte mich ein wenig davor, daß ich mich hier blamieren könnte.	M
9. Ich bin fest entschlossen, mich bei dieser Aufgabe voll anzustrengen.	H
10. Bei Aufgaben wie dieser brauche ich keine Belohnung, sie machen mir auch so viel Spaß.	I
11. Es ist mir etwas peinlich, hier zu versagen.	M
12. Ich glaube, das kann jeder schaffen.	E
13. Ich glaube, ich schaffe diese Aufgabe nicht.	E (-)
14. Wenn ich die Aufgabe schaffe, werde ich schon ein wenig stolz auf meine Tüchtigkeit sein.	H
15. Wenn ich an die Aufgabe denke, bin etwas beunruhigt.	M
16. Eine solche Aufgabe würde ich auch in meiner Freizeit bearbeiten.	I
17. Die konkreten Leistungsanforderungen hier lähmen mich.	M

Anmerkung: (-) invertiert

Skalen:

I = Interesse

H = Herausforderung

E = Erfolgserwartung

M = Misserfolgsanreiz

Textseiten der Informationsbasis

Seite 1: Ausgangsstoffe

Rohstoffe für die Seifenherstellung sind Fette, Wasser und Natronlauge. Es werden vor allem pflanzliche sowie in geringem Maße auch tierische Fette verwendet. Die Fette werden in flüssigem Zustand als Öle (Kokos- und Palmöl) aber auch in festem Zustand als Butter oder Talg (Rindertalg und Schweineschmalz) angeliefert und bei einer Temperatur von 75 °C zwischengelagert. Die Fette enthalten die für die Seifenherstellung notwendigen Fettsäuren.

Das Wasser wird destilliert geliefert. Es dient als Wasserdampf zur Erhitzung der Fette und Trennung des enthaltenen Glycerins von den Fettsäuren.

Unter Natronlauge versteht man eine wässrige, stark alkalische Lösung von Natriumhydroxid. Sie wird meist durch Elektrolyse von Natriumchlorid gewonnen. Natronlauge hat einen pH-Wert von 14 und verursacht auf Körpergewebe schwere Verätzungen. Die Natronlauge dient der Neutralisation der gewonnenen Fettsäuren.

Seite 2: Lagertanks

Die Ausgangsstoffe befinden sich in den Lagertanks LT~, LT* und LT°. Im linken Lagertank LT~ wird das Wasser gelagert. Er besteht aus stoßfestem Polyethylen und hat ein Fassungsvermögen von 30.000 Litern. Er ist außerdem mit einer Füllstandsanzeige ausgestattet.

Der rechte Lagertank LT* dient der Lagerung der Fette. Er ist doppelwandig, besteht aus Edelstahl und hat ein Fassungsvermögen von 20.000 Litern. Der Lagertank besitzt eine Füllstandsanzeige und eine automatische Heizungsanlage für eine konstante Lagertemperatur.

Der mittlere Lagertank LT° enthält die Natronlauge. Er ist dreiwandig isoliert, mit einer Nickellegierung beschichtet und hat ein Fassungsvermögen von 15.000 Litern. Er ist ebenfalls mit einer Füllstandsanzeige ausgerüstet.

Am Ende der Fertigungslinie befindet sich ein Zwischenlagerbehälter. In diesem Behälter wird die produzierte Seife für den Weitertransport zwischengelagert. Der Behälter ist doppelwandig, besteht aus Edelstahl und hat ein Fassungsvermögen von 20.000 Litern. Desweiteren besitzt er eine Füllstandsanzeige, an der man die Menge der hergestellten Seife ablesen kann.

Seite 3: Dosierbehälter

Zur Dosierung der Ausgangsstoffe dienen die Dosierbehälter DB~, DB*, DB°. Das Fassungsvermögen der Dosierbehälter entspricht der für einen Produktionsdurchlauf jeweils erforderlichen Rohstoffmenge. Die Dosierbehälter befinden sich jeweils unter den zugehörigen Pumpen. DB* und DB° befinden sich direkt über dem Mischer, der Dosierbehälter DB~ ist über dem Verseifungskessel angeordnet. Über eine Füllstandskontrolle in den Dosierbehältern wird die zugehörige Pumpe nach dem Erreichen der erforderlichen Rohstoffmenge automatisch abgeschaltet.

Der Dosierbehälter für das Wasser DB~ besitzt eine Heizungsanlage, die das Wasser automatisch auf 180 °C zu Wasserdampf erhitzt. Er hat ein Fassungsvermögen von 7.000 Litern, was der erforderlichen Wassermenge für einen Produktionsdurchlauf entspricht. Er ist außerdem mit einem automatischen Überdruckventil sowie einer Temperaturanzeige ausgestattet und besteht aus Edelstahl. Der Wasserdampf kann über ein Ablassventil weitergeleitet werden. Das Ablassventil muss manuell über einen Tastschalter geöffnet werden.

Der Dosierbehälter DB* für die Fette, der auch aus Edelstahl besteht, ist ebenfalls mit einer automatischen Heizungsanlage ausgestattet, die das Fettgemisch auf einer Temperatur von 75°C hält. Er hat ein Fassungsvermögen von 5.000 Litern, was der erforderlichen Fettmenge für einen Produktionsdurchlauf entspricht. Die Fette können auch über ein Ablassventil weitergeleitet werden. Das Ablassventil muss manuell über einen Tastschalter geöffnet werden.

Auch der Dosierbehälter DB° für die Natronlauge besteht aus Edelstahl. Er hat ein Fassungsvermögen

von 4.000 Litern, was der erforderlichen Natronlauge für einen Produktionsdurchlauf entspricht. Die Natronlauge kann ebenfalls über ein Ablassventil weitergeleitet werden. Das Ablassventil muss manuell über einen Tastschalter geöffnet werden.

Bei der Weiterleitung der Ausgangsstoffe in den Mischer ist zu beachten, dass die Natronlauge erst dann in den Mischer geleitet werden darf, wenn sich darin schon die Fette befinden. Nach vollständiger Entleerung der Dosierbehälter schließen sich die Ablassventile automatisch.

Seite 4: Mischer

Im Mischer werden Fette und Lauge zu einem weiterverarbeitbaren Gemisch verarbeitet. Er ist ein elektrisch betriebenes Rührwerk mit einer Leistung von 3000 l/h. Der Mischerbehälter hat ein Fassungsvermögen von 9000 l, eine Füllstandsanzeige und besteht aus Edelstahl. Über einen Stellregler kann die zur Vermischung der Rohstoffe notwendige Zeitspanne und die notwendige Temperatur eingestellt werden. Die notwendige Mischzeit für eine vollständige Füllung beträgt demnach 3 Stunden. Dabei ist eine Temperatur von 75° C einzuhalten. Der Mischer muss manuell eingeschaltet werden und schaltet sich nach Ablauf der Zeit automatisch ab.

Seite 5: Verseifungskessel

Der Verseifungskessel ist ein Hochdrucktank mit einem Fassungsvermögen von 20.000 Litern und einer speziellen Titanummantelung. Die notwendige Verseifungstemperatur kann über einen Stellregler eingestellt und an einer Temperaturanzeige abgelesen werden. Ebenso wird der erforderliche Druck über einen Stellregler eingestellt und kann an einer Druckanzeige abgelesen werden.

Der Verseifungsvorgang wird über einen Schalter gestartet und entsprechend der Füllmenge automatisch beendet. Die verbleibende Verseifungszeit kann über eine Zeitanzeige, der Füllstand über eine Füllstandsanzeige abgelesen werden.

Im Verseifungskessel werden das Fettgemisch und die Natronlauge mit dem Wasserdampf bei einer Temperatur von 180 bis 200 °C und einem Druck von 8 bis 10 bar über eine Zeit von 4 – 6 Stunden verseift. Dadurch wird das in den Ölen und Fetten vorkommende wasserlösliche Glycerin von den mit ihm verbundenen Fettsäuren getrennt. Dabei entsteht Seifenleim, der sich an der Oberfläche sammelt. Als Nebenprodukt setzt sich ein Gemisch aus Wasser und Glycerin, die so genannte Unterlauge, auf dem Boden des Verseifungskessels ab.

Der Anteil der Unterlauge nach dem Verseifungsprozess beträgt 25% des Gesamtvolumens. Die Menge kann über eine Unterlaugeanzeige am Verseifungskessel abgelesen werden. Die Unterlauge muss vor dem nächsten Arbeitsgang über ein Ablassventil abgelassen werden. Das Ablassventil muss manuell geöffnet werden und schließt sich automatisch, wenn die Unterlauge vollständig abgelassen ist.

Seite 6: Trockner

Im Trockner wird der Seifenleim getrocknet, d. h. von einem Wassergehalt von 40 % auf 15 % reduziert. Um der Seife, die für die Weiterverarbeitung notwendige Festigkeit zu geben, wird sie im Anschluss gekühlt. Der Trockner hat ein Fassungsvermögen von 12.000 Litern, besteht aus Edelstahl und besitzt eine Füllstandsanzeige. Bei dem Trockner handelt es sich um einen Vakuum-Trockner.

In einer evakuierten Sprühkammer wird bei einem Druck von 40 mbar und einer Temperatur von 25 °C der Seifenleim über eine Sprühdüse an die Innenwand des Behälters gesprüht und mit Abstreichmessern abgenommen. Die Seife fällt dabei aus der Sprühkammer des Trockners in den Sammelraum. Über eine angeschlossene Rohrförderschnecke wird die Seife in den Zwischenlagerbehälter transportiert. Die Rohrförderschnecke muss manuell ein- und ausgeschaltet werden.

Das verdampfte Wasser wird automatisch abgeleitet. Die erforderliche Trocknungstemperatur kann über einen Stellregler eingestellt und an einer Temperaturanzeige abgelesen werden. Der erforderliche Druck wird ebenfalls über einen Stellregler eingestellt und kann an einer Druckanzeige abgelesen

werden.

Der Trocknungsvorgang wird über einen Schalter gestartet und entsprechend der Füllmenge automatisch beendet. Die verbleibende Trocknungszeit kann über eine Zeitanzeige abgelesen werden.

Seite 7: Fördereinrichtungen

Die Baugruppen ÖP, LP, MP, WP, SP und RFS befördern die Ausgangs- und Zwischenstoffe. Die Ölpumpe ÖP ist eine elektrisch betriebene Kreiselpumpe. Die Ölpumpe muss manuell eingeschaltet werden und schaltet sich automatisch ab, wenn der maximale Füllstand im zugehörigen Dosierbehälter erreicht ist. Die Laugenpumpe LP ist ebenfalls eine elektrisch betriebene Kreiselpumpe.

Die Laugenpumpe muss manuell eingeschaltet werden und schaltet sich automatisch ab, wenn der maximale Füllstand im zugehörigen Dosierbehälter erreicht ist. Auch die Wasserpumpe ist eine elektrisch betriebene Kreiselpumpe. Auch für die Wasserpumpe gilt, dass sie manuell eingeschaltet werden muss, sich aber automatisch abschaltet, wenn der maximale Füllstand im zugehörigen Dosierbehälter erreicht ist.

Die Mischerpumpe MP ist eine elektrisch betriebene Kreiselpumpe zur Beförderung des Lauge-Fettgemisches in den Verseifungskessel. Die Mischerpumpe muss manuell eingeschaltet werden und schaltet sich automatisch aus wenn der Mischer entleert oder der maximale Füllstand vom Verseifungskessel erreicht ist.

Die Seifenpumpe SP ist eine elektrisch betriebene Kreiselpumpe zur Beförderung des Seifenleims. Sie muss sowohl manuell ein- als auch ausgeschaltet werden.

Die Rohrförderschnecke RFS ist ein elektrisch betriebener Schneckenförderer zum Transport der Seife in den Zwischenlagerbehälter transportiert. Sie muss ebenfalls sowohl manuell ein- als auch ausgeschaltet werden.

Seite 8: Verbindungen

Der Lagertank LT* ist über Rohrleitungen und die zwischengeschaltete Ölpumpe ÖP mit dem Dosierbehälter DB* verbunden. Der Lagertank LT~ ist über Rohrleitungen und die zwischengeschaltete Wasserpumpe WP mit dem Dosierbehälter DB~ verbunden. Der Lagertank LT° ist über Rohrleitungen und die zwischengeschaltete Laugenpumpe LP mit dem Dosierbehälter DB° verbunden. Die Dosierbehälter DB* und DB° sind über Rohrleitungen mit Mischer verbunden. Der DB~ ist über eine Rohrleitung mit dem Verseifungskessel verbunden. Der Verseifungskessel ist über eine Rohrleitung und die zwischengeschaltete Seifenpumpe SP mit dem Trockner verbunden. Der Trockner ist über die Rohrförderschnecke mit dem Zwischenlagerbehälter verbunden.

Seite 9: Qualitätsstufen der Seifenherstellung

Mit der Verseifungsanlage kann Seife in zwei Qualitätsstufen hergestellt werden. Für Seife mit der Qualitätsstufe 1 müssen am Verseifungskessel 180° C und 8 Bar eingestellt werden. Für diese Qualitätsstufe beträgt der Verseifungsprozess für eine Füllung 6 Stunden. Für die Qualitätsstufe 2 wird am Verseifungskessel eine Einstellung von 200° C und 10 Bar vorgenommen. Die Produktionszeit verkürzt sich hier auf 4 Stunden.

Seite 10: Folgen bei der Abweichung von festgelegten Prozessparametern

Werden im Verseifungskessel die notwendige Temperatur und der notwendige Druck unterschritten, wird das in den Fetten vorkommende wasserlösliche Glycerin nicht vollständig getrennt. Die Prozesszeit erhöht sich. Eine Überschreitung der Werte führt wegen des zu hohen Energieverbrauchs zu erhöhten Kosten bei der Seifenherstellung. Die Unterschreitung der notwendigen Temperatur und des

notwendigen Drucks im Trockner führt zu einem Zwischenprodukt mit zu hohem Feuchtigkeitsgehalt und einer erhöhten Prozesszeit. Eine Überschreitung der Parameter führt dagegen zu einem Zwischenprodukt mit zu niedrigem Feuchtigkeitsgehalt.

Fragen des Wissenstests

Erläuterung: ausgegraute Antwortalternativen sind falsch

1. Welches sind die Ausgangsstoffe für die Seifenherstellung?

- A: Fette
- B: Farbstoffe
- C: Wasser
- D: Natronlauge

2. Aus welchen Ausgangsstoffen wird das Fett gewonnen?

- A: Schweineschmalz
- B: Rapsöl
- C: Rindertalg
- D: Kokosöl

3. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- A: Die Fette sind eine Woche lagerfähig.
- B: Die Fette enthalten die zur Seifenherstellung nötige Natronlauge.
- C: Die Fette werden bei 75°C gelagert.
- D: Es werden tierische und pflanzliche Fette verwendet.

4. Was wird während der Verseifung in Glycerin umgesetzt?

- A: Natriumhydroxid
- B: Fett
- C: Wasser
- D: Natriumchlorid

5. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- A: Das Wasser darf nicht kälter als 13 °C sein.
- B: Man muss destilliertes Wasser verwenden.
- C: Das Wasser muss Trinkwasserqualität haben.
- D: Das Wasser darf nicht wärmer als 13° C sein.

6. Wozu dient die Natronlauge?

- A: Der Trennung des Glycerins von den Fettsäuren.
- B: Der Destillation des Wassers.
- C: Der Neutralisation der gewonnen Fettsäuren.
- D: Der Elektrolyse von Natriumchlorid.

7. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- A: Natronlauge ist eine wässrige, stark alkalische Lösung.
- B: Unter Natronlauge versteht man Natriumhydroxid.
- C: Natronlauge ist ph-neutral.
- D: Natronlauge wirkt ätzend.

8. Wie werden die Fette angeliefert?

- A: in flüssiger Form
- B: in getrockneter Form
- C: in fester Form
- D: in zerkleinerter Form

9. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- A: LT° ist der linke Lagertank.
- B: LT~ ist der linke Lagertank.
- C: LT* ist der rechte Lagertank.
- D: LT° ist der mittlere Lagertank.

10. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- A: Das Wasser befindet sich im linken Lagertank.
- B: Die Fette befinden sich im rechten Lagertank.
- C: Die Natronlauge befindet sich im mittleren Lagertank.
- D: Die Fette befinden sich im linken Lagertank.

11. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- A: Der Lagertank für das Wasser hat ein Fassungsvermögen von 20.000 Litern.
- B: Der Lagertank für die Fette hat ein Fassungsvermögen von 20.000 Litern.
- C: Der Zwischenlagerbehälter hat ein Fassungsvermögen von 20.000 Liter.
- D: Der Lagertank für die Natronlauge hat ein Fassungsvermögen von 20.000 Litern.

12. An welchem Lagertank befindet sich eine Füllstandsanzeige?

- A: Am Lagertank LT*.
- B: Am Lagertank LT~.
- C: Am Lagertank LT°.
- D: An keinem Lagertank.

13. Welcher Lagertank hat eine Wärmeeinrichtung?

- A: Der Lagertank der Fette.
- B: Der Lagertank des Wassers
- C: Der Lagertank der Natronlauge.
- D: Keiner der Lagertanks.

14. Welcher Lagerbehälter besteht aus Edelstahl?

- A: der Zwischenlagerbehälter
- B: der Lagertank für das Wasser
- C: der Lagertank für die Fette
- D: kein Lagertank

15. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- A: Der Zwischenlagerbehälter befindet sich zwischen Mischer und Verseifungskessel.
- B: Der Zwischenlagerbehälter befindet sich zwischen Verseifungskessel und Trockner.
- C: Der Zwischenlagerbehälter befindet sich am Ende der Fertigungslinie.
- D: Im Zwischenlagerbehälter wird die produzierte Seife zwischengelagert.

16. Wodurch bestimmt sich das Fassungsvermögen der Dosierbehälter?

- A: Es muss manuell eingestellt werden.
- B: Es ist vorgegeben.
- C: Es bestimmt sich durch die Kapazität der angeschlossenen Pumpe.
- D: Es entspricht der für einen Produktionsdurchlauf jeweils erforderlichen Rohstoffmenge.

17. Wo befinden sich die Dosierbehälter?

- A: Sie befinden sich jeweils über den zugehörigen Pumpen.
- B: Der Dosierbehälter DB~ befindet sich direkt vor dem Trockner.
- C: DB* und DB° befinden sich direkt über dem Mischer.
- D: Der Dosierbehälter DB~ ist über dem Verseifungskessel angeordnet.

18. Wann schaltet sich die Pumpe zwischen Lagertank und Dosierbehälter ab?

- A: Nach dem Erreichen der erforderlichen Rohstoffmenge schaltet sie sich automatisch ab.
- B: Sie muss manuell abgeschaltet werden.
- C: Das Abschalten erfolgt über eine Füllstandskontrolle.
- D: Die Pumpe schaltet sich nach dem vollständigen Entleeren des Lagertanks ab.

19. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- A: Alle Dosierbehälter besitzen eine Heizungsanlage.
- B: Alle Dosierbehälter bestehen aus Edelstahl.
- C: Alle Dosierbehälter besitzen ein manuelles Ablassventil.
- D: Alle Ablassventile schließen sich automatisch nach vollständiger Entleerung der Dosierbehälter.

20. Worauf muss bei der Weiterleitung der Ausgangsstoffe in den Mischer geachtet werden?

- A: Dass sich die Fette vor der Natronlauge im Mischer befinden.
- B: Dass sich die Natronlauge vor dem Wasser im Mischer befindet.
- C: Dass sich die Fette vor der Natronlauge und dem Wasser bereits im Mischer befinden.
- D: Dass der Mischer noch vor dem Einleiten bereits aktiviert ist.

21. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- A: Der Mischerbehälter besteht aus Edelstahl.
- B: Der Mischerbehälter besteht aus Polyethylen.
- C: Der Mischerbehälter besteht aus einer Nickellegierung.
- D: Keine der Aussagen ist richtig.

22. Wozu dienen die Stellregler am Mischer?

- A: Die Stellregler dienen zum An- und Ausschalten des Mixers.
- B: Über die Stellregler kann der Druck eingestellt werden.
- C: Über die Stellregler können die Temperatur und die Zeitspanne eingestellt werden.
- D: An dem Mischer muss die zu mischende Menge Fette eingestellt werden.

23. Welche Funktion hat der Mischer?

- A: Im Mischer werden Fette und Lauge zu einem Gemisch verarbeitet.
- B: Es wird dem Fett Wasser zugesetzt.
- C: Wasser, Fette und Lauge werden gemischt.
- D: Die Fettsäuren werden hier durch die Natronlauge neutralisiert.

24. Wann schaltet sich der Mischer automatisch ab?

- A: Der Mischer schaltet sich jeweils nach 1 Stunde automatisch ab.
- B: Der Mischer schaltet sich automatisch ab, wenn die eingestellte Zeit abgelaufen ist.
- C: Der Mischer schaltet sich automatisch ab, wenn der Verseifungskessel eingeschaltet wird.
- D: Der Mischer schaltet sich automatisch ab, wenn die Kontrolllampe aufleuchtet.

25. Wie wird der Mischer angetrieben?

- A: mit Benzin
- B: mit Diesel
- C: mit elektrischem Strom
- D: mit Biogas

26. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- A: Die notwendige Mischzeit für eine vollständige Füllung des Mixers beträgt 3 Stunden.
- B: Beim Mischen ist eine Temperatur von 180° C einzuhalten.
- C: Der Mischer verfügt über eine Füllstandsanzeige.
- D: Der Mischer hat ein Fassungsvermögen von 9000 l.

27. Wozu dienen die Stellregler des Verseifungskessels?

- A: An ihnen stellt man die Verseifungsdauer ein.
- B: An ihnen stellt man den nötigen Druck und die Temperatur ein.
- C: An ihnen stellt man die Menge an herzustellender Seife ein.
- D: Sie haben keine Funktion.

28. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- A: Der Verseifungskessel ist ein Hochdrucktank mit einem Fassungsvermögen von 20.000 Litern.
- B: Der Verseifungsvorgang wird entsprechend der Füllmenge automatisch beendet.
- C: Der Verseifungskessel besitzt eine spezielle Titanummantelung.
- D: Der Verseifungskessel besitzt ein Überdruckventil.

29. Was passiert bei der Verseifung im Innern des Verseifungskessels?

- A: Das in den Ölen und Fetten vorkommende wasserlösliche Glycerin wird von den mit ihm verbundenen Fettsäuren getrennt.
- B: Natronlauge wird in Natriumchlorid umgesetzt.
- C: Die zuvor gewonnen Fettsäuren werden neutralisiert.
- D: Unterlauge setzt sich auf dem Boden des Verseifungskessels ab.

30. Welche Anzeigen besitzt der Verseifungskessel?

- A: Eine Zeitanzeige.
- B: Eine Temperaturanzeige.
- C: Eine Füllstandsanzeige.
- D: Keine der Anzeigen.

31. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- A: Die Unterlauge wird vor dem nächsten Arbeitsgang automatisch abgelassen.
- B: Der Anteil der Unterlauge nach dem Verseifungsprozess beträgt 50% des Gesamtvolumens.
- C: Für die Verseifung ist mindestens ein Druck von 40 bar nötig.
- D: Ein Verseifungsdurchgang dauert ca. 4 – 6 Stunden.

32. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- A: Im Trockner wird der Seifenleim von einem Wassergehalt von 40 % auf 15 % reduziert.
- B: Im Trockner wird der Seifenleim von einem Wassergehalt von 60 % auf 20 % reduziert.
- C: Der Trockner besteht aus Edelstahl, hat ein Fassungsvermögen von 12.000 Litern und besitzt eine Füllstandsanzeige.
- D: Für die Weiterverarbeitung wird die Seife im Trockner gekühlt.

33. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- A: Der Seifenleim wird im Trockner bei einer Temperatur von 25 °C und einem Druck von 40 mbar bearbeitet.
- B: Der Trockner ist ein Vakuum-Trockner.
- C: Die Seife fällt aus der Sprühkammer des Trockners in den Sammelraum.
- D: Dem Seifenleim werden im Trockner Duftstoffe zugeführt.

34. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- A: Die Trocknungszeit kann am Trockner über einen Stellregler eingestellt werden.
- B: Die für den Trocknungsprozess benötigte Temperatur kann über einen Stellregler eingestellt und an einer Temperaturanzeige abgelesen werden.
- C: Das beim Trocknungsprozess verdampfte Wasser muss über ein manuell zu öffnendes Ventil abgeleitet werden.
- D: Das beim Trocknungsprozess verdampfte Wasser wird automatisch abgeleitet.

35. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- A: Die Trocknungszeit kann über eine Zeitanzeige abgelesen werden.
- B: Der für den Trocknungsprozess benötigte Druck kann über einen Stellregler eingestellt und an einer Druckanzeige abgelesen werden.
- C: Der Trocknungsvorgang wird über einen Schalter gestartet und entsprechend der Füllmenge automatisch beendet.
- D: Der Trocknungsvorgang wird über einen Schalter gestartet und muss manuell wieder abgeschaltet werden.

36. Welche Fördereinrichtungen sind manuell einzuschalten?

- A: Keine Fördereinrichtung ist manuell einzuschalten.
- B: Es müssen nur die Seifenpumpe SP und die Mischerpumpe MP manuell eingeschaltet werden.
- C: Alle Fördereinrichtungen sind manuell einzuschalten.
- D: Nur die Rohrförderschnecke RFS, die Seifenpumpe SP und die Mischerpumpe MP müssen manuell eingeschaltet werden.

37. Welche Fördereinrichtungen sind manuell abzuschalten?

- A: Keine Fördereinrichtung ist manuell abzuschalten.
- B: Die Seifenpumpe SP und die Rohrförderschnecke RFS sind manuell abzuschalten.
- C: Alle Fördereinrichtungen sind manuell abzuschalten.
- D: Die Ölpumpe ÖP, die Wasserpumpe WP und die Laugenpumpe LP sind manuell abzuschalten.

38. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- A: Die Seifenpumpe SP transportiert das Laugen-Fettgemisch.
- B: Die Pumpe WP befördert das Wasser.
- C: Die Seifenpumpe transportiert den Seifenleim.
- D: Die Mischerpumpe transportiert das Laugen-Fettgemisch.

39. Welche Aufgabe hat die Rohrförderschnecke?

- A: Sie transportiert den Seifenleim.
- B: Sie transportiert die Seife.
- C: Sie transportiert das Laugen-Fettgemisch.
- D: Sie transportiert die Lauge.

40. Nach welchem Funktionsprinzip arbeiten die in der Rohstoffaufbereitung eingesetzten Pumpen?

- A: Es sind Kolbenpumpen.
- B: Es sind Kreiselpumpen.
- C: Es sind Zahnradpumpen.
- D: Es sind hydropneumatische Pumpen.

41. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- A: Die Pumpe ÖP befördert das Fett.
- B: Die Pumpe LP befördert die Lauge.
- C: Die Pumpe LP befördert das Wasser.
- D: Die Pumpe WP befördert die Lauge.

42. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- A: Der Lagertank LT* ist über Rohrleitungen und die zwischengeschaltete Ölpumpe ÖP mit dem Dosierbehälter DB* verbunden.
- B: Der Lagertank LT~ ist über Rohrleitungen und die zwischengeschaltete Laugenpumpe LP mit dem Dosierbehälter DB~ verbunden.
- C: Der Lagertank LT~ ist über Rohrleitungen und die zwischengeschaltete Wasserpumpe WP mit dem Dosierbehälter DB~ verbunden.
- D: Der Lagertank LT° ist über Rohrleitungen und die zwischengeschaltete Ölpumpe ÖP mit dem Dosierbehälter DB° verbunden.

43. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- A: Der Lagertank LT° ist über Rohrleitungen und die zwischengeschaltete Laugenpumpe LP mit dem Dosierbehälter DB° verbunden.
- B: Die Dosierbehälter DB* und DB° sind über Rohrleitungen mit Mischer verbunden.
- C: Der Dosierbehälter DB~ ist über eine Rohrleitung mit dem Mischer verbunden.
- D: Der Dosierbehälter DB~ ist über eine Rohrleitung mit dem Verseifungskessel verbunden.

44. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- A: Der Verseifungskessel ist über eine Rohrleitung und die zwischengeschaltete Mischerpumpe MP mit dem Trockner verbunden.
- B: Der Verseifungskessel ist über eine Rohrleitung und die zwischengeschaltete Seifenpumpe SP mit dem Trockner verbunden.
- C: Der Trockner ist über die Rohrförderschnecke mit dem Zwischenlagerbehälter verbunden.
- D: Der Mischer ist über eine Rohrleitung und die Mischerpumpe mit dem Zwischenlagerbehälter verbunden.

45. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- A: Für Seife mit der Qualitätsstufe 1 müssen am Verseifungskessel 150° C und 5 Bar eingestellt werden; der Verseifungsprozess dauert 4 Stunden.
- B: Für Seife mit der Qualitätsstufe 1 müssen am Verseifungskessel 180° C und 8 Bar eingestellt werden; der Verseifungsprozess dauert 6 Stunden.
- C: Für Seife mit der Qualitätsstufe 2 müssen am Verseifungskessel 200° C und 10 Bar eingestellt werden; der Verseifungsprozess dauert 4 Stunden.
- D: Für Seife mit der Qualitätsstufe 2 müssen am Verseifungskessel 210° C und 12 Bar eingestellt werden; der Verseifungsprozess dauert 6 Stunden.

46. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- A: Eine Unterschreitung der notwendigen Temperatur und des notwendigen Drucks im Verseifungskessel verlängert den Verseifungsprozess.
- B: Eine Überschreitung der notwendigen Temperatur und des notwendigen Drucks im Verseifungskessel verkürzt zwar den Verseifungsprozess, macht ihn jedoch unökonomisch.
- C: Eine Überschreitung der notwendigen Temperatur und des notwendigen Drucks im Trockner hat keinen Einfluss auf den Verseifungsprozess.
- D: Eine Unterschreitung der notwendigen Temperatur und des notwendigen Drucks im Trockner führt zu einem Zwischenprodukt mit zu hohem Feuchtigkeitsgehalt.

47. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- A: Alle Pumpen bestehen aus Edelstahl.
- B: Alle Dosierbehälter bestehen aus Edelstahl.
- C: Nur die Lagertanks bestehen aus Edelstahl.
- D: Nur der Verseifungskessel und der Trockner bestehen aus Edelstahl.

48. Welche Bauelemente besitzen Stellregler?

- A: der Verseifungskessel
- B: die Rohrförderschnecke RFS
- C: die Seifenpumpe
- D: die Trockner und der Mischer

49. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- A: Die Lagertanks besitzen Füllstandsanzeigen.
- B: Der Verseifungskessel besitzt eine Zeitanzeige.
- C: Die Seifenpumpe SP und die Mischerpumpe MP besitzen Füllstandsanzeigen.
- D: Die Dosierbehälter besitzen Füllstandsanzeigen.

50. Welche Bauelemente besitzen Schalter?

- A: die Lagertanks
- B: die Rohrförderschnecke RFS
- C: die Ölpumpe und die Wasserpumpe
- D: der Trockner und der Mischer

51. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- A: Die Seifenpumpe transportiert den Seifenleim vom Verseifungskessel zum Trockner.
- B: Die Mischerpumpe transportiert den Seifenleim vom Mischer zum Trockner.
- C: Die Wasserpumpe WP transportiert das Wasser vom Lagertank LT~ zum Dosierbehälter DB~.
- D: Die Ölpumpe ÖP transportiert das Öl vom Mischer zum Zwischenlagerbehälter.

52. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- A: Die Wasserpumpe WP, die Ölpumpe ÖP und die Laugenpumpe LP sind manuell einzuschalten.
- B: Die Seifenpumpe schaltet sich automatisch ab.
- C: Die Rohrförderschnecke RFS muss manuell abgeschaltet werden.
- D: Trockner und Mischer müssen manuell abgeschaltet werden.

53. Was kann an den Stellreglern eingestellt werden?

- A: die Temperatur
- B: die Fördermenge
- C: der Druck
- D: die Zeit

54. Was kann an den Anzeigen abgelesen werden?

- A: die Zeit
- B: die Fördermenge
- C: der Füllstand
- D: die Pumpenleistung

Tabelle A2: Zuordnung der Items des Wissenstest zu den verschiedenen Klassen

<i>Inhaltsklasse</i>	<i>Mikropropositionen</i>	<i>Makropropositionen</i>
Definition und Merkmale der Ausgangs- und Zwischenstoffe	1,2,3,4,5,6,7,8,20,31	
Topologie	16,21,23,25,39,40,9,10,11,12,3,14,15,17,19,26,28,29,30,32,33, 38,41,42,43,44	47,48,49,50,51,54
Einstell- und Bedienoperationen an Bauelementen	22,24,27,18,34,35,36,37,45,46	52,53

Aufgabenstellungen der Lokisationsaufgaben

1. Bitte klicken Sie die Füllstandsanzeige vom Lagertank der Lauge (LB°) an.
2. Bitte klicken Sie den Lagertank der Fette (LB*) an.
3. Bitte klicken Sie die Fördereinrichtung für das Wasser (WP) an.
4. Bitte klicken Sie den Tastschalter der Fördereinrichtung für die Fette (ÖP) an.
5. Bitte klicken Sie den Tastschalter des Dosierbehälters für das Wasser (DB~) an.
6. Bitte klicken Sie den Dosierbehälter für die Lauge (DB°) an.
7. Bitte klicken Sie den Verseifungskessel an.
8. Bitte klicken Sie die Fördereinrichtung (SP) an, die den Seifenleim vom Verseifungskessel zum Trockner transportiert.
9. Bitte klicken Sie die Anzeige an, an der die eingestellte Trocknungszeit des Trockners abgelesen werden kann
10. Bitte klicken Sie den Schalter der Fördereinrichtung (RFS) an, die die Seife in den Zwischenlagerbehälter transportiert.
11. Bitte klicken Sie den Zwischenlagerbehälter an.
12. Bitte klicken sie den Stellregler der Temperaturanzeige am Mischer an.
13. Bitte klicken Sie den Tastschalter der Mischerpumpe an.

Aufgabenstellung der Steuerungsaufgabe

- Im Rahmen des technologischen Prozesses der Seifenproduktion wird Ihnen die Verantwortung übertragen, Seife der Qualitätsstufe 2 zu produzieren. Bitte führen Sie einen zur Seifenherstellung notwendigen Prozessablauf vollständig durch.
- Bitte stellen Sie 18.000 Liter Seife der Qualitätsstufe 2 her. Dazu sind zwei Prozessabläufe notwendig.

Operatoren der Steuerungsaufgabe

Erläuterung: Bei der Produktionsaufgabe 2 muss der gesamte Verseifungsprozess zweimal durchgeführt werden

- Einstellen der Werte
 - Einstellen der Temperatur am Mischer
 - Einstellen der Zeit am Mischer
- Einstellen der Temperatur am Verseifungskessel
- Einstellen des Drucks Verseifungskessel
- Einstellen der Temperatur am Trockner
- Einstellen des Drucks Trockner
- Befördern der Fette
 - Einschalten der Fettpumpe zum Dosierbehälter
- Einschalten der Fettdosierpumpe zum Mischer
- Befördern der Lauge
 - Einschalten der Laugenpumpe zum Dosierbehälter
- Einschalten der Laugendosierpumpe zum Mischer
- Befördern des Wassers
 - Einschalten der Wasserpumpe zum Dosierbehälter
- Einschalten der Wasserdosierpumpe zum Mischer
- Betätigen des Mixers
 - Einschalten des Mixers
- Befördern des Lauge-Fett-Gemisches
 - Einschalten der Mischerpumpe
- Verseifen von Oelen, Seife und Wasser
 - Einschalten der Verseifung am Kessel
- Befördern der Seife zur Trocknung
 - Einschalten der Seifenpumpe
- Ausschalten der Seifenpumpe
- Trocknen der Seife
 - Einschalten des Trockners
- Befördern der Seife zum Zwischenlagerbehälter
 - Einschalten der Rohrförderschnecke
- Ausschalten der Rohrförderschnecke

Nur bei Produktionsaufgabe 2 zwischen dem ersten und zweiten Verseifungsvorgang:

- Ablassen der Unterlauge
 - Einschalten des Ventilschalters am Verseifungskessel

Items des Fragebogens zu selbstberichteten Tiefenstrategien beim Lernen

1. Bei der Auswahl der Textseiten habe ich mich an den Seitentiteln orientiert.
2. Ich habe mir während des Lernens Teilziele gestellt.
3. Beim Durcharbeiten der Textseiten habe ich mich gefragt, welche Aussagen für die Erreichung des Lernziels wirklich wichtig sind.
4. Ich habe nur die Informationen gelernt, die ich zur Erreichung des Lernziels für notwendig hielt.
5. Ich habe mir einen Überblick über die Textseiten der Informationsbasis verschafft.
6. Während des Lernens habe ich auf die noch verbleibende Lernzeit geachtet.
7. Ich habe die Abfolge, in der ich die Textseiten gelesen habe, bewußt gewählt.
8. Nach dem Durcharbeiten einer Textseite oder Passage habe ich mich gefragt, ob ich sie wirklich verstanden habe.
9. Während des Lernens habe ich die Inhalte verschiedener Textseiten miteinander verknüpft.
10. Ich habe mir während des Lernens Notizen gemacht und/oder etwas aufgezeichnet.
11. Während des Lernens habe ich darauf geachtet, daß meine Lernanstrengung erhalten bleibt.
12. Bevor ich die Schaltfläche "Fertig" gedrückt habe, habe ich mich gefragt, ob ich das vorgegebene Lernziel auch tatsächlich erreicht habe.
13. Ich habe während des Lernens meine Vorgehensweise geändert.

Anhang B – Ergänzende Tabellen und Übersichten STUDIE I

Abschnitt 6.1.1 Selektion der Stichproben

Tab. B1: Güte der Werkzeugnutzung – Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung.

		<i>TG</i>	<i>Sig</i>
Güte der Werkzeugnutzung	EG _{BS}	Z = 0.88	p = .42
	EG _{OP}	Z = 1.05	p = .22
	EG _{SIM}	Z = 1.21	p = .1

Tab. B2: Güte der Werkzeugnutzung - Levene-Test auf Varianzhomogenität.

	<i>TG</i>	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>Sig</i>
Güte der Werkzeugnutzung	F = 9	2	60	p > .01

Tab. B3: Güte der Werkzeugnutzung - Mittel der Quadrate und Teststärke.

	<i>Mittel der Quadrate</i>	<i>Teststärke</i>
Güte der Werkzeugnutzung	.09	.7

Abschnitt 6.1.2 Demographische Daten & Kontrollvariablen

Tab. B4: Demographie- und Kontrollvariablen – Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung.

		TG	Sig
Alter	KG	Z = 0.76	p = .61
	EG _{BS}	Z = 0.98	p = .3
	EG _{OP}	Z = 0.66	p = .78
	EG _{SIM}	Z = 1.29	p = .07
Erfolgserwartung	KG	Z = 0.98	p = .3
	EG _{BS}	Z = 0.9	p = .39
	EG _{OP}	Z = 0.71	p = .7
	EG _{SIM}	Z = 0.77	p = .59
Misserfolgsanreiz	KG	Z = 1.02	p = .25
	EG _{BS}	Z = 0.59	p = .88
	EG _{OP}	Z = 0.73	p = .66
	EG _{SIM}	Z = 0.5	p = .96
Interesse	KG	Z = 0.71	p = .7
	EG _{BS}	Z = 0.51	p = .96
	EG _{OP}	Z = 1.14	p = .15
	EG _{SIM}	Z = 0.7	p = .71
Herausforderung	KG	Z = 0.82	p = .51
	EG _{BS}	Z = 0.62	p = .84
	EG _{OP}	Z = 0.56	p = .92
	EG _{SIM}	Z = 0.66	p = .77

Tab. B5: Demographie- und Kontrollvariablen - Levene-Test auf Varianzhomogenität.

	TG	df1	df2	Sig
Alter	F = 1	3	83	p = .4
Erfolgserwartung	F = 0.64	3	83	p = .59
Misserfolgsanreiz	F = 1.31	3	83	p = .28
Interesse	F = 0.63	3	83	p = .6
Herausforderung	F = 0.24	3	83	p = .87

Tab. B6: Demographie- und Kontrollvariablen - Mittel der Quadrate und Teststärke.

	Mittel der Quadrate	Teststärke
Alter	27.68	.25
Erfolgserwartung	4.01	.87
Misserfolgsanreiz	4.47	.77
Interesse	2.22	.52
Herausforderung	.22	.09

Abschnitt 6.2.1 Prüfung der Hypothese H1_1a

Tab. B7: Zeit für Aufzeichnungen – Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung.

			<i>TG</i>	<i>Sig</i>
Zeit für Aufzeichnungen	VR _{neu}	KG	Z = 1.4	p = .04
		EG _{BS}	Z = 1.26	p = .08
		EG _{OP}	Z = 0.92	p = .37
		EG _{SIM}	Z = 1.48	p = .03
	VR _{alt}	KG	Z = 1.42	p = .04
		EG _{BS}	Z = 1.41	p = .04
		EG _{OP}	Z = 0.45	p = .99
		EG _{SIM}	Z = 1.01	p = .26

Tab. B8: Zeit für Aufzeichnungen - Levene-Test auf Varianzhomogenität.

			<i>TG</i>	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>Sig</i>
Zeit für Aufzeichnungen	Intra VR	VR _{neu}	F = 16.84	3	83	p > .01
		VR _{alt}	F = 1.45	3	49	p = .24
	Inter VR		F = 8.27	7	132	p > .01
		KG - EG _{BS}	F = 11.19	3	64	p > .01
		KG - EG _{OP}	F = 9.82	3	76	p > .01
		KG - EG _{SIM}	F = 6.08	3	76	p > .01

Tab. B9: Zeit für Aufzeichnungen - Mittel der Quadrate und Teststärke.

			<i>Mittel der Quadrate</i>	<i>Teststärke</i>
Zeit für Aufzeichnungen	Intra VR	VR _{neu}	/	/
		VR _{alt}	17.98	.14
	Inter VR		124.34	.69
		KG - EG _{BS}	6.46	.08
		KG - EG _{OP}	67.02	.61
		KG - EG _{SIM}	1.16	.07

Abschnitt 6.2.2 Prüfung der Hypothesen H1_2a-c

Tab. B10: Anteil der Werkzeugaktionen – Mittelwerte und Standardabweichungen aller Intervalle.

	Versuchsgruppe	VR _{neu}		VR _{alt}	
		M	SD	M	SD
1. Dezil	EG _{BS}	,00	,01	0	0
	EG _{OP}	,07	,18	,03	,07
	EG _{SIM}	,04	,1	,07	,16
2. Dezil	EG _{BS}	,04	,09	,05	,06
	EG _{OP}	,03	,05	,03	,05
	EG _{SIM}	,07	,14	,01	,03
3. Dezil	EG _{BS}	,07	,11	,12	,12
	EG _{OP}	,05	,12	,05	,07
	EG _{SIM}	,08	,16	,01	,03
4. Dezil	EG _{BS}	,04	,06	,05	,07
	EG _{OP}	,04	,06	,05	,08
	EG _{SIM}	,06	,08	,07	,16
5. Dezil	EG _{BS}	,27	,35	,13	,1
	EG _{OP}	,07	,11	,13	,15
	EG _{SIM}	,05	,07	,07	,12
6. Dezil	EG _{BS}	,12	,09	,17	,09
	EG _{OP}	,08	,11	,17	,08
	EG _{SIM}	,09	,12	,05	,08
7. Dezil	EG _{BS}	,18	,18	,21	,16
	EG _{OP}	,12	,13	,178	,14
	EG _{SIM}	,07	,08	,192	,23
8. Dezil	EG _{BS}	,17	,22	,132	,1
	EG _{OP}	,09	,12	,164	,16
	EG _{SIM}	,22	,19	,119	,15
9. Dezil	EG _{BS}	,07	,08	,09	,08
	EG _{OP}	,13	,18	,142	,14
	EG _{SIM}	,19	,17	,225	,17
10. Dezil	EG _{BS}	,04	,06	,053	,06
	EG _{OP}	,32	,32	,060	,06
	EG _{SIM}	,14	,12	,19	,23

Tab. B11: Anteil der Werkzeugaktionen - Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung aller Intervalle.

	Versuchsgruppe	VR _{neu}		VR _{alt}	
		TG	Sig	TG	Sig
1. Dezil	EG _{BS}	Z = 1.92	p > .01	Z = 0	p = 0
	EG _{OP}	Z = 1.91	p > .01	Z = 0.88	p = .42
	EG _{SIM}	Z = 1.61	p = .01	Z = 1.91	p > .01
2. Dezil	EG _{BS}	Z = 1.19	p = .12	Z = 1.22	p = .1
	EG _{OP}	Z = 1.75	p > .01	Z = 0.87	p = .44
	EG _{SIM}	Z = 1.41	p = .04	Z = 2.01	p > .01
3. Dezil	EG _{BS}	Z = 1.26	p = .09	Z = 0.85	p = .46
	EG _{OP}	Z = 1.97	p > .01	Z = 0.99	p = .29
	EG _{SIM}	Z = 1.54	p = .02	Z = 2	p > .01
4. Dezil	EG _{BS}	Z = 1.36	p = .05	Z = 0.97	p = .3
	EG _{OP}	Z = 1.65	p = .01	Z = 0.98	p = .29
	EG _{SIM}	Z = 1.13	p = .16	Z = 1.36	p = .05
5. Dezil	EG _{BS}	Z = 0.96	p = .31	Z = 0.48	p = .97
	EG _{OP}	Z = 1.33	p = .06	Z = 0.78	p = .58
	EG _{SIM}	Z = 1.14	p = .15	Z = 1.45	p = .03
6. Dezil	EG _{BS}	Z = 0.5	p = .97	Z = 0.59	p = .88
	EG _{OP}	Z = 1.25	p = .09	Z = 0.53	p = .93
	EG _{SIM}	Z = 1.06	p = .21	Z = 1.61	p = .01
7. Dezil	EG _{BS}	Z = 0.72	p = .67	Z = 0.47	p = .98
	EG _{OP}	Z = 0.98	p = .3	Z = 0.66	p = .78
	EG _{SIM}	Z = 0.96	p = .32	Z = 0.82	p = .5
8. Dezil	EG _{BS}	Z = 0.79	p = .56	Z = 0.59	p = .87
	EG _{OP}	Z = 1.21	p = .11	Z = 0.63	p = .83
	EG _{SIM}	Z = 0.57	p = .9	Z = 0.85	p = .47
9. Dezil	EG _{BS}	Z = 0.76	p = .61	Z = 0.47	p = .98
	EG _{OP}	Z = 1.3	p = .07	Z = 0.46	p = .98
	EG _{SIM}	Z = 0.57	p = .9	Z = 0.67	p = .76
10. Dezil	EG _{BS}	Z = 1.28	p = .08	Z = 1.03	p = .24
	EG _{OP}	Z = 1.75	p > .01	Z = 0.48	p = .98
	EG _{SIM}	Z = 0.68	p = .74	Z = 0.84	p = .48

Tab. B12: Anteil der Werkzeugaktionen - Levene-Test auf Varianzhomogenität aller Intervalle.

	<i>VR_{neu}</i>				<i>VR_{alt}</i>			
	<i>TG</i>	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>Sig</i>	<i>TG</i>	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>Sig</i>
1. Dezil	$F = 1.92$	2	60	$p = .16$	$F = 6.758$	2	31	$p > .01$
2. Dezil	$F = 2,38$	2	60	$p = .1$	$F = 5.534$	2	31	$p = .01$
3. Dezil	$F = 1.37$	2	60	$p = .26$	$F = 11.350$	2	31	$p > .01$
4. Dezil	$F = 0.96$	2	60	$p = .39$	$F = 0.257$	2	31	$p = .78$
5. Dezil	$F = 10.92$	2	60	$p > .01$	$F = 2.324$	2	31	$p = .12$
6. Dezil	$F = 0.33$	2	60	$p = .72$	$F = 0.105$	2	31	$p = .9$
7. Dezil	$F = 5.66$	2	60	$p = .01$	$F = 0.780$	2	31	$p = .47$
8. Dezil	$F = 2.68$	2	60	$p = .08$	$F = 0.907$	2	31	$p = .41$
9. Dezil	$F = 1.89$	2	60	$p = .16$	$F = 3.994$	2	31	$p = .03$
10. Dezil	$F = 16.29$	2	60	$p > .01$	$F = 10.244$	2	31	$p > .01$

Tab. B13: Anteil der Werkzeugaktionen - Mittel der Quadrate und Teststärke.

			<i>Mittel der Quadrate</i>	<i>Teststärke</i>
Anteil der Werkzeugaktionen	Intra VR	VR_{neu}	.16	1
		VR_{alt}	.06	.84
	Inter VR		.06	.9

Abschnitt 6.2.3 Prüfung der Hypothese H1_3a

Tab. B14: Antwortgüte in den Items zu Makropropositionen im Wissenstest – Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung.

			<i>TG</i>	<i>Sig</i>
Antwortgüte der Items zu Makropro- positionen des Wis- senstests	VR _{neu}	KG	Z = 1.13	p = .15
		EG _{BS}	Z = 0.64	p = .8
		EG _{OP}	Z = 1.01	p = .26
		EG _{SIM}	Z = 0.57	p = .9
	VR _{alt}	KG	Z = 1.44	p = .03
		EG _{BS}	Z = 0.73	p = .67
		EG _{OP}	Z = 0.72	p = .63
		EG _{SIM}	Z = 0.94	p = .34

Tab. B15: Antwortgüte in den Items zu Makropropositionen im Wissenstest - Levene-Test auf Varianzhomogenität.

			<i>TG</i>	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>Sig</i>
Antwortgüte der Items zu Makro- propositionen des Wissenstests	Intra VR	VR _{neu}	F = 3.5	3	83	p = .02
		VR _{alt}	F = 0.71	3	49	p = .55
	Inter VR		F = 2.75	7	132	p = .01
	Inter VR	KG - EG _{BS}	F = 0.34	3	64	p = .79
	Inter VR	KG - EG _{OP}	F = 4.41	3	76	p = .01
	Inter VR	KG - EG _{SIM}	F = 2.2	3	76	p = .1

Tab. B16: Antwortgüte in den Items zu Makropropositionen im Wissenstest - Mittel der Quadrate und Teststärke.

			<i>Mittel der Quadrate</i>	<i>Teststärke</i>
Antwortgüte der Items zu Makropro- positionen des Wis- senstests	Intra VR	VR _{neu}	.17	.79
		VR _{alt}	.06	.46
	Inter VR		.03	.17
	Inter VR	KG - EG _{BS}	.06	.31
	Inter VR	KG - EG _{OP}	> .01	.05
	Inter VR	KG - EG _{SIM}	> .01	.05

Abschnitt 6.2.4 Prüfung der Hypothese H1_4a

Tab. B17: Selbstberichtete Tiefenstrategien beim Lernen – Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung.

			<i>TG</i>	<i>Sig</i>
Selbstberichtete Tiefenstrategien beim Lernen	VR _{neu}	KG	Z = 0.79	p = .56
		EG _{BS}	Z = 0.75	p = .62
		EG _{OP}	Z = 1.01	p = .26
		EG _{SIM}	Z = 0.73	p = .66
	VR _{alt}	KG	Z = 0.4	p = 1
		EG _{BS}	Z = 0.43	p = .99
		EG _{OP}	Z = 0.6	p = .86
		EG _{SIM}	Z = 0.57	p = .9

Tab. B18: Selbstberichtete Tiefenstrategien beim Lernen - Levene-Test auf Varianzhomogenität.

			<i>TG</i>	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>Sig</i>
Selbstberichtete Tiefenstrategien beim Lernen	Intra VR	VR _{neu}	F = 1.2	3	83	p = .31
		VR _{alt}	F = 2.98	3	49	p = .04
	Inter VR		F = 1.27	7	132	p = .27
		KG - EG _{BS}	F = 0.42	3	64	p = .74
		KG - EG _{OP}	F = 0.81	3	76	p = .49
		KG - EG _{SIM}	F = 1.99	3	76	p = .12

Tab. B19: Selbstberichtete Tiefenstrategien beim Lernen - Mittel der Quadrate und Teststärke.

			<i>Mittel der Quadrate</i>	<i>Teststärke</i>
Selbstberichtete Tiefenstrategien beim Lernen	Intra VR	VR _{neu}	.1	.17
		VR _{alt}	/	/
	Inter VR		> .01	.1
		KG - EG _{BS}	> .01	.13
		KG - EG _{OP}	> .01	.05
		KG - EG _{SIM}	.01	.05

Abschnitt 6.2.5 Prüfung der Hypothesen H1_5a-b

Tab. B20: Antwortgüte der Items des Wissenstests und Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe – Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung.

			<i>TG</i>	<i>Sig</i>
Antwortgüte der Items des Wissenstests	VR _{neu}	KG	Z = 0.51	p = .96
		EG _{BS}	Z = 0.87	p = .44
		EG _{OP}	Z = 0.67	p = .76
		EG _{SIM}	Z = 0.53	p = .94
	VR _{alt}	KG	Z = 0.42	p = .99
		EG _{BS}	Z = 0.44	p = .99
		EG _{OP}	Z = 0.63	p = .83
		EG _{SIM}	Z = 0.61	p = .85
Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe	VR _{neu}	KG	Z = 0.51	p = .96
		EG _{BS}	Z = 0.58	p = .89
		EG _{OP}	Z = 0.84	p = .48
		EG _{SIM}	Z = 0.5	p = .96
	VR _{alt}	KG	Z = 0.65	p = .79
		EG _{BS}	Z = 0.92	p = .37
		EG _{OP}	Z = 0.9	p = .39
		EG _{SIM}	Z = 0.67	p = .76

Tab. B21: Antwortgüte der Items des Wissenstests und Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe - Levene-Test auf Varianzhomogenität.

			<i>TG</i>	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>Sig</i>
Antwortgüte der Items des Wissenstests	Intra VR	VR _{neu}	F = 0.04	3	83	p = .99
		VR _{alt}	F = 1.36	3	49	p = .27
	Inter VR	KG - EG _{BS}	F = 0.51	7	132	p = .83
		KG - EG _{OP}	F = 0.6	3	64	p = .62
		KG - EG _{OP}	F = 0.44	3	76	p = .73
		KG - EG _{SIM}	F = 0.08	3	76	p = .97
Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe	Intra VR	VR _{neu}	F = 1.04	3	83	p = .38
		VR _{alt}	F = 3	3	49	p = .04
	Inter VR	KG - EG _{BS}	F = 10.91	7	132	p > .01
		KG - EG _{BS}	F = 10.88	3	64	p > .01
		KG - EG _{OP}	F = 6.78	3	76	p > .01
		KG - EG _{SIM}	F = 8.67	3	76	p > .01

Tab. B22: Antwortgüte der Items des Wissenstests und Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe - Mittel der Quadrate und Teststärke.

			<i>Mittel der Quadrate</i>	<i>Teststärke</i>
Antwortgüte der Items des Wissenstests	Intra VR	VR _{neu}	.04	.63
		VR _{alt}	.02	.36
	Inter VR	KG - EG _{BS}	.02	.28
		KG - EG _{OP}	.02	.19
		KG - EG _{OP}	> .01	.07
		KG - EG _{SIM}	.03	.23
Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe	Intra VR	VR _{neu}	2380.89	.99
		VR _{alt}	/	/
	Inter VR	KG - EG _{BS}	1273.48	.46
		KG - EG _{BS}	582.71	.14
		KG - EG _{OP}	2956.27	.72
		KG - EG _{SIM}	2259.63	.4

Abschnitt 6.2.6 Prüfung der Hypothesen H1_6a-c

Tab. B23: Antwortgüte der topologischen und operativen Items des Wissenstests – Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung.

			TG	Sig
Antwortgüte der topologischen Items des Wissenstests	VR _{neu}	KG	Z = 0.57	p = .91
		EG _{BS}	Z = 0.63	p = .82
		EG _{OP}	Z = 0.99	p = .29
		EG _{SIM}	Z = 0.56	p = .92
	VR _{alt}	KG	Z = 0.56	p = .91
		EG _{BS}	Z = 0.54	p = .93
EG _{OP}		Z = 0.59	p = .87	
EG _{SIM}		Z = 0.5	p = .96	
Antwortgüte der operativen Items des Wissenstests	VR _{neu}	KG	Z = 0.54	p = .93
		EG _{BS}	Z = 0.61	p = .85
		EG _{OP}	Z = 0.98	p = .3
		EG _{SIM}	Z = 0.57	p = .9
	VR _{alt}	KG	Z = 0.81	p = .53
		EG _{BS}	Z = 0.91	p = .38
EG _{OP}		Z = 0.54	p = .93	
EG _{SIM}		Z = 0.66	p = .77	

Tab. B24: Antwortgüte der topologischen und operativen Items des Wissenstests - Levene-Test auf Varianzhomogenität.

			TG	df1	df2	Sig
Antwortgüte der topologischen Items des Wissenstests	Intra VR	VR _{neu}	F = 0.2	3	83	p = .9
		VR _{alt}	F = 0.139	3	49	p = .26
	Inter VR		F = 0.7	7	132	p = .67
		KG - EG _{BS}	F = 1.19	3	64	p = .32
		KG - EG _{OP}	F = 0.34	3	76	p = .8
Inter VR	KG - EG _{SIM}	F = 0.28	3	76	p = .84	
Antwortgüte der operativen Items des Wissenstests	Intra VR	VR _{neu}	F = 0.18	3	83	p = .91
		VR _{alt}	F = 0.174	3	49	p = .17
	Inter VR		F = 1.5	7	132	p = .17
		KG - EG _{BS}	F = 2.23	3	64	p = .09
		KG - EG _{OP}	F = 1.57	3	76	p = .2
Inter VR	KG - EG _{SIM}	F = 1.9	3	76	p = .14	

Tab. B25: Antwortgüte der topologischen und operativen Items des Wissenstests - Mittel der Quadrate und Teststärke.

			Mittel der Quadrate	Teststärke
Antwortgüte der topologischen Items des Wissenstests	Intra VR	VR _{neu}	.05	.5
		VR _{alt}	.02	.22
	Inter VR		.01	.14
		KG - EG _{BS}	.01	.12
		KG - EG _{OP}	.01	.08
Inter VR	KG - EG _{SIM}	> .01	.07	
Antwortgüte der operativen Items des Wissenstests	Intra VR	VR _{neu}	.14	.81
		VR _{alt}	.08	.82
	Inter VR		.16	.92
		KG - EG _{BS}	.12	.53
		KG - EG _{OP}	.03	.17
Inter VR	KG - EG _{SIM}	.05	.24	

Abschnitt 6.2.7 Prüfung der Hypothesen H1_6d-e

Tab. B26: Lösungsgüte der Lokalisationsaufgaben – Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung.

			<i>TG</i>	<i>Sig</i>
Lösungsgüte der Lokalisationsaufgaben	VR _{neu}	KG	Z = 0.62	p = .84
		EG _{BS}	Z = 0.87	p = .44
		EG _{OP}	Z = 1.03	p = .24
		EG _{SIM}	Z = 0.72	p = .68
	VR _{alt}	KG	Z = 0.67	p = .76
		EG _{BS}	Z = 0.76	p = .61
		EG _{OP}	Z = 0.48	p = .97
		EG _{SIM}	Z = 0.64	p = .82

Tab. B27: Lösungsgüte der Lokalisationsaufgaben - Levene-Test auf Varianzhomogenität.

			<i>TG</i>	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>Sig</i>
Lösungsgüte der Lokalisationsaufgaben	Intra VR	VR _{neu}	F = 0.2	3	83	p = .9
		VR _{alt}	F = 1.8	3	49	p = .16
	Inter VR	KG - EG _{BS}	F = 0.67	3	64	p = .58
		KG - EG _{OP}	F = 1.51	3	76	p = .22
	Inter VR	KG - EG _{SIM}	F = 0.28	3	76	p = .84

Tab. B28: Lösungsgüte der Lokalisationsaufgaben - Mittel der Quadrate und Teststärke.

			<i>Mittel der Quadrate</i>	<i>Teststärke</i>
Lösungsgüte der Lokalisationsaufgaben	Intra VR	VR _{neu}	.1	.51
		VR _{alt}	.37	1
	Inter VR	KG - EG _{BS}	.1	.31
		KG - EG _{OP}	.09	.27
	Inter VR	KG - EG _{SIM}	.12	.36

Abschnitt 6.2.8 Prüfung der Hypothesen H1_7a-b

Tab. B29: Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe - Levene-Test auf Varianzhomogenität.

		<i>TG</i>	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>Sig</i>
Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe	KG - EG _{BS}	$F = 10.88$	3	64	$p > .01$
	EG _{BS} - EG _{OP}	$F = 20.48$	3	56	$p > .01$
	EG _{OP} - EG _{SIM}	$F = 13.69$	3	68	$p > .01$

Tab. B30: Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe - Mittel der Quadrate und Teststärke.

		<i>Mittel der Quadrate</i>	<i>Teststärke</i>
Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe	KG - EG _{BS}	582.71	.14
	EG _{BS} - EG _{OP}	791.9	.2
	EG _{OP} - EG _{SIM}	198.96	.09

Anhang C – Ergänzende Tabellen und Übersichten STUDIE II

Abschnitt 9.1.1 Selektion der Stichproben

Tab. C1: Güte der Werkzeugnutzung – Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung.

		<i>TG</i>	<i>Sig</i>
Güte der Werkzeugnutzung	BS-Werkzeug	Z = 0.9	p = .38
	OP-Werkzeug	Z = 0.65	p = .79
	SIM-Werkzeug	Z = 0.57	p = .9

Tab. C2: Güte der Werkzeugnutzung - Levene-Test auf Varianzhomogenität.

	<i>TG</i>	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>Sig</i>
Güte der Werkzeugnutzung	F = 0.02	2	45	p = .98

Tab. C3: Güte der Werkzeugnutzung - Mittel der Quadrate und Teststärke.

	<i>Mittel der Quadrate</i>	<i>Teststärke</i>
Güte der Werkzeugnutzung	.02	.13

Abschnitt 9.1.2 Demographische Daten & Kontrollvariablen

Tab. C4: Demographie- und Kontrollvariablen – Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung.

		<i>TG</i>	<i>Sig</i>
Alter	EG _{KB}	Z = 1.04	p = .23
Erfolgserwartung	EG _{KB}	Z = 0.63	p = .83
Misserfolgsanreiz	EG _{KB}	Z = 0.57	p = .91
Interesse	EG _{KB}	Z = 0.55	p = .93
Herausforderung	EG _{KB}	Z = 0.59	p = .88

Tab. C5: Demographie- und Kontrollvariablen - Levene-Test auf Varianzhomogenität.

	<i>TG</i>	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>Sig</i>
Alter	F = 1.8	4	98	p = .13
Erfolgserwartung	F = 0.48	4	98	p = .74
Misserfolgsanreiz	F = 1.17	4	98	p = .33
Interesse	F = 2.13	4	98	p = .08
Herausforderung	F = 0.2	4	98	p = .94

Tab. C6: Demographie- und Kontrollvariablen - Mittel der Quadrate und Teststärke.

	<i>Mittel der Quadrate</i>	<i>Teststärke</i>
Alter	88.02	.83
Erfolgserwartung	3.25	.87
Misserfolgsanreiz	3.48	.75
Interesse	1.68	.41
Herausforderung	.18	.08

Abschnitt 9.2.1 Prüfung der Hypothese H2_1a

Tab. C7: Zeit für Aufzeichnungen – Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung.

		<i>TG</i>	<i>Sig</i>
Zeit für Aufzeichnungen	EG _{KB}	Z = 1.23	p = .1

Tab. C8: Zeit für Aufzeichnungen - Levene-Test auf Varianzhomogenität.

	<i>TG</i>	<i>Sig</i>
Zeit für Aufzeichnungen	F = 2.75	p = .11

Tab. C9: Zeit für Aufzeichnungen - Differenz der Mittelwerte und Teststärke.

	<i>Differenz der Mittelwerte</i>	<i>Teststärke</i>
Zeit für Aufzeichnungen	4.96	1

Abschnitt 9.2.2 Prüfung der Hypothesen H2_2a-c

Tab. C10: Anteil der Werkzeugaktionen – Mittelwerte und Standardabweichungen aller Intervalle.

		<i>M</i>	<i>SD</i>
1. Dezil	BS-Werkzeug	.06	.11
	OP-Werkzeug	.09	.07
	SIM-Werkzeug	.07	.15
2. Dezil	BS-Werkzeug	.13	.14
	OP-Werkzeug	.04	.07
	SIM-Werkzeug	.08	.16
3. Dezil	BS-Werkzeug	.2	.17
	OP-Werkzeug	.06	.1
	SIM-Werkzeug	.02	.044
4. Dezil	BS-Werkzeug	.2	.16
	OP-Werkzeug	.07	.12
	SIM-Werkzeug	.03	.04
5. Dezil	BS-Werkzeug	.11	.12
	OP-Werkzeug	.06	.07
	SIM-Werkzeug	.05	.09
6. Dezil	BS-Werkzeug	.13	.14
	OP-Werkzeug	.08	.1
	SIM-Werkzeug	.06	.08
7. Dezil	BS-Werkzeug	.12	.19
	OP-Werkzeug	.14	.2
	SIM-Werkzeug	.10	.18
8. Dezil	BS-Werkzeug	.02	.08
	OP-Werkzeug	.19	.14
	SIM-Werkzeug	.11	.1
9. Dezil	BS-Werkzeug	.02	.06
	OP-Werkzeug	.17	.11
	SIM-Werkzeug	.19	.19
10. Dezil	BS-Werkzeug	.01	.02
	OP-Werkzeug	.1	.11
	SIM-Werkzeug	.29	.32

Tab. C11: Anteil der Werkzeugaktionen - Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung aller Intervalle der EG_{KB}.

	<i>Versuchsgruppe</i>	<i>TG</i>	<i>Sig</i>
1. Dezil	BS-Werkzeug	Z = 1.59	p = .01
	OP-Werkzeug	Z = 0.66	p = .78
	SIM-Werkzeug	Z = 1.69	p = .01
2. Dezil	BS-Werkzeug	Z = 0.74	p = .65
	OP-Werkzeug	Z = 1.23	p = .1
	SIM-Werkzeug	Z = 1.26	p = .08
3. Dezil	BS-Werkzeug	Z = 0.64	p = .81
	OP-Werkzeug	Z = 1.34	p = .06
	SIM-Werkzeug	Z = 1.56	p = .02
4. Dezil	BS-Werkzeug	Z = 0.61	p = .86
	OP-Werkzeug	Z = 1.17	p = .13
	SIM-Werkzeug	Z = 1.27	p = .08
5. Dezil	BS-Werkzeug	Z = 0.86	p = .44
	OP-Werkzeug	Z = 1.02	p = .25
	SIM-Werkzeug	Z = 1.2	p = .12
6. Dezil	BS-Werkzeug	Z = 0.95	p = .32
	OP-Werkzeug	Z = 0.92	p = .37
	SIM-Werkzeug	Z = 1.39	p = .04
7. Dezil	BS-Werkzeug	Z = 1.07	p = .21
	OP-Werkzeug	Z = 1	p = .27
	SIM-Werkzeug	Z = 1.4	p = .04
8. Dezil	BS-Werkzeug	Z = 1.95	p > .01
	OP-Werkzeug	Z = 0.6	p = .87
	SIM-Werkzeug	Z = 0.75	p = .62
9. Dezil	BS-Werkzeug	Z = 1.53	p = .02
	OP-Werkzeug	Z = 0.7	p = .72
	SIM-Werkzeug	Z = 0.64	p = .8
10. Dezil	BS-Werkzeug	Z = 2.15	p > .01
	OP-Werkzeug	Z = 0.85	p = .46
	SIM-Werkzeug	Z = 0.75	p = .62

Tab. C12: Anteil der Werkzeugaktionen - Levene-Test auf Varianzhomogenität aller Intervalle der EG_{KB}.

	<i>TG</i>	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>Sig</i>
1. Dezil	$F = 2.993$	2	45	$p = .06$
2. Dezil	$F = 2.143$	2	45	$p = .13$
3. Dezil	$F = 10.641$	2	45	$p > .01$
4. Dezil	$F = 6.894$	2	45	$p > .01$
5. Dezil	$F = 1.168$	2	45	$p = .32$
6. Dezil	$F = 3.576$	2	45	$p = .04$
7. Dezil	$F = 0.040$	2	45	$p = .96$
8. Dezil	$F = 7.244$	2	45	$p > .01$
9. Dezil	$F = 9.455$	2	45	$p > .01$
10. Dezil	$F = 20.279$	2	45	$p > .01$

Tab. C13: Anteil der Werkzeugaktionen - Mittel der Quadrate und Teststärke.

	<i>Mittel der Quadrate</i>	<i>Teststärke</i>
Anteil der Werkzeugaktionen	.16	.9

Abschnitt 9.2.2 Prüfung der Hypothesen H2_2d-e

Tab. C14: Antwortgüte der Items des Wissenstests und Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe – Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung.

		TG	Sig
Antwortgüte der Items des Wissenstests	N ₁	Z = 0.73	p = .67
	N ₂	Z = 0.43	p = .99
Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe	N ₁	Z = 0.54	p = .93
	N ₂	Z = 0.8	p = .55

Tab. C15: Antwortgüte der Items des Wissenstests und Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe - Levene-Test auf Varianzhomogenität.

	TG	Sig
Antwortgüte der Items des Wissenstests	F = 0.44	p = .53
Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe	F = 0.52	p = .49

Tab. C16: Antwortgüte der Items des Wissenstests und Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe - Differenz der Mittelwerte und Teststärke.

	Differenz der Mittelwerte	Teststärke
Lösungsgüte des Wissenstests	.14	.49
Effizienz zur Lösung der Steuerungsaufgabe	14	.31

Tab. C17: Intervall, in dem der höchste relative Anteil an Werkzeugaktionen stattfand, und Modellkonformität.

	BS-Funktion	OPER-Funktion	SIM-Funktion	Modellkonformität	Min - Max
VP 1	7	8	10	1	3
VP 2	7	10	10	0	3
VP 3	3	4	10	1	7
VP 4	6	3	10	0	7
VP 5	4	3	7	0	4
VP 6	5	8	7	0	3
VP 7	4	8	5	0	3
VP 8	4	9	1	0	8
VP 9	2	8	10	1	8
VP 10	1	7	9	1	8
VP 11	5	8	2	0	6
VP 12	7	5	8	0	3
VP 13	3	8	7	0	5
VP 14	2	9	1	0	8
VP 15	5	9	9	0	4
VP 16	4	6	10	1	6

Anmerkung: Bei gleichen Werten in mehreren Intervallen wurde das erste Intervall gewertet.

Abschnitt 9.2.3 Prüfung der Hypothese H2_3a

Tab. C18: Antwortgüte in den Items zu Makropropositionen im Wissenstest – Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung.

		<i>TG</i>	<i>Sig</i>
Antwortgüte der Items zu Makropropositionen des Wissenstests	EG _{KB}	Z = 0.86	p = .46

Tab. C19: Antwortgüte in den Items zu Makropropositionen im Wissenstest - Levene-Test auf Varianzhomogenität.

		<i>TG</i>	<i>Sig</i>
Antwortgüte der Items zu Makropropositionen des Wissenstests	EG _{KB} - KG	F > .01	p = 1
	EG _{KB} - EG _{BS}	F = 0.4	p = .54
	EG _{KB} - EG _{OP}	F = 6.47	p = .02
	EG _{KB} - EG _{SIM}	F = 2.69	p = .11

Tab. C20: Antwortgüte in den Items zu Makropropositionen im Wissenstest - Differenz der Mittelwerte und Teststärke.

		<i>Differenz der Mittelwerte</i>	<i>Teststärke</i>
Antwortgüte der Items zu Makropropositionen des Wissenstests	EG _{KB} - KG	.29	1
	EG _{KB} - EG _{BS}	.06	.23
	EG _{KB} - EG _{OP}	.15	.67
	EG _{KB} - EG _{SIM}	.17	.08

Abschnitt 9.2.4 Prüfung der Hypothese H2_4a

Tab. C21: Selbstberichtete Tiefenstrategien beim Lernen – Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung.

		<i>TG</i>	<i>Sig</i>
Selbstberichtete Tiefenstrategien beim Lernen	EG _{KB}	Z = 0.44	p = .99

Tab. C22: Selbstberichtete Tiefenstrategien beim Lernen - Levene-Test auf Varianzhomogenität.

		<i>TG</i>	<i>Sig</i>
Selbstberichtete Tiefenstrategien beim Lernen	EG _{KB} - KG	F = 0.02	p = .9
	EG _{KB} - EG _{BS}	F > .01	p = .97
	EG _{KB} - EG _{OP}	F = 2.61	p = .11
	EG _{KB} - EG _{SIM}	F = 0.16	p = .7

Tab. C23: Selbstberichtete Tiefenstrategien beim Lernen - Differenz der Mittelwerte und Teststärke.

		<i>Differenz der Mittelwerte</i>	<i>Teststärke</i>
Selbstberichtete Tiefenstrategien beim Lernen	EG _{KB} - KG	.12	.18
	EG _{KB} - EG _{BS}	.16	.3
	EG _{KB} - EG _{OP}	.01	.06
	EG _{KB} - EG _{SIM}	.07	.1

Abschnitt 9.2.5 Prüfung der Hypothesen H2_5a-b

Tab. C24: Antwortgüte der Items des Wissenstests und Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe – Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung.

		<i>TG</i>	<i>Sig</i>
Antwortgüte der Items des Wissenstests	EG _{KB}	Z = 0.82	p = .51
Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe	EG _{KB}	Z = 0.66	p = .78

Tab. C25: Antwortgüte der Items des Wissenstests und Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe - Levene-Test auf Varianzhomogenität.

		<i>TG</i>	<i>Sig</i>
Antwortgüte der Items des Wissenstests	EG _{KB} - KG	F = 0.14	p = .71
	EG _{KB} - EG _{BS}	F = 0.09	p = .77
	EG _{KB} - EG _{OP}	F = 0.03	p = .88
	EG _{KB} - EG _{SIM}	F > .01	p = .98
Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe	EG _{KB} - KG	F = 0.51	p = .48
	EG _{KB} - EG _{BS}	F = 0.57	p = .46
	EG _{KB} - EG _{OP}	F = 0.37	p = .55
	EG _{KB} - EG _{SIM}	F = 0.19	p = .67

Tab. C26: Antwortgüte der Items des Wissenstests und Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe - Differenz der Mittelwerte und Teststärke.

		<i>Differenz der Mittelwerte</i>	<i>Teststärke</i>
Antwortgüte der Items des Wissenstests	EG _{KB} - KG	.22	1
	EG _{KB} - EG _{BS}	.18	.97
	EG _{KB} - EG _{OP}	.15	.98
	EG _{KB} - EG _{SIM}	.11	.8
Effizienz bei der Lösung der Steuerungsaufgabe	EG _{KB} - KG	26.57	1
	EG _{KB} - EG _{BS}	23.29	.95
	EG _{KB} - EG _{OP}	19.08	.99
	EG _{KB} - EG _{SIM}	2.22	.1

Abschnitt 9.2.6 Prüfung der Hypothesen H2_6a-b

Tab. C27: Antwortgüte der topologischen und operativen Items des Wissenstests – Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung.

		TG	Sig
Antwortgüte der topologischen Items des Wissenstests	EG _{KB}	Z = 0.78	p = .58
Antwortgüte der operativen Items des Wissenstests	EG _{KB}	Z = 0.9	p = .39

Tab. C28: Antwortgüte der topologischen und operativen Items des Wissenstests - Levene-Test auf Varianzhomogenität.

		TG	Sig
Antwortgüte der topologischen Items des Wissenstests	EG _{KB} - KG	F = 0.56	p = .46
	EG _{KB} - EG _{BS}	F = 1.44	p = .24
	EG _{KB} - EG _{OP}	F = 2.06	p = .16
	EG _{KB} - EG _{SIM}	F = 0.5	p = .49
Antwortgüte der operativen Items des Wissenstests	EG _{KB} - KG	F = 0.35	p = .56
	EG _{KB} - EG _{BS}	F = 0.8	p = .38
	EG _{KB} - EG _{OP}	F = 0.85	p = .36
	EG _{KB} - EG _{SIM}	F = 1.8	p = .19

Tab. C29: Antwortgüte der topologischen und operativen Items des Wissenstests - Differenz der Mittelwerte und Teststärke.

		Differenz der Mittelwerte	Teststärke
Antwortgüte der topologischen Items des Wissenstests	EG _{KB} - KG	.22	1
	EG _{KB} - EG _{BS}	.11	.7
	EG _{KB} - EG _{OP}	.17	.99
	EG _{KB} - EG _{SIM}	.13	.83
Antwortgüte der operativen Items des Wissenstests	EG _{KB} - KG	.3	1
	EG _{KB} - EG _{BS}	.15	.57
	EG _{KB} - EG _{OP}	.21	.96
	EG _{KB} - EG _{SIM}	.12	.51

Abschnitt 9.2.7 Prüfung der Hypothesen H2_6c

Tab. C30: Antwortgüte Lösungsgüte der Lokalisationsaufgaben – Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung.

		<i>TG</i>	<i>Sig</i>
Lösungsgüte der Lokalisationsaufgaben	EG _{KB}	Z = 0.76	p = .62

Tab. C31: Lösungsgüte der Lokalisationsaufgaben - Levene-Test auf Varianzhomogenität.

		<i>TG</i>	<i>Sig</i>
	EG _{KB} - KG	F = 1.89	p = .18
Lösungsgüte der Lokalisationsaufgaben	EG _{KB} - EG _{BS}	F = 1.05	p = .32
	EG _{KB} - EG _{OP}	F = 5.71	p = .02
	EG _{KB} - EG _{SIM}	F = 0.71	p = .41

Tab. C32: Lösungsgüte der Lokalisationsaufgaben - Differenz der Mittelwerte und Teststärke.

		<i>Differenz der Mittelwerte</i>	<i>Teststärke</i>
	EG _{KB} - KG	.27	.99
Lösungsgüte der Lokalisationsaufgaben	EG _{KB} - EG _{BS}	.09	.39
	EG _{KB} - EG _{OP}	.17	.88
	EG _{KB} - EG _{SIM}	.14	.69

Anhang D – Korrelationen zwischen allen Variablen

Tab. D: Korrelationen zwischen allen Variablen (bereinigte Gesamtstichprobe N = 103)

	Alter	Geschlecht	PC-Kenntnisse	Zeit am PC	Erfahrung mit Lernprogrammen	FAM - Erfolgserwartung	FAM - Misserfolgsanreiz	FAM - Interesse	FAM - Herausforderung	Qualität Werkzeugnutzung	Dauer Aufzeichnungen	Dauer Werkzeugnutzung	Dauer gesamtes Lernen	Selbstberichtete Lernstrategien	Wissenstests	Wissenstests Makropropositionen	Wissenstests topologische Items	Wissenstests operative Items	Lokalisationsaufgaben
Alter	/																		
Geschlecht	-1.82	/																	
PC-Kenntnisse	.244*	-.237*	/																
Zeit am PC	.286**	.260		/															
FAM - Erfahrung mit Lernprogrammen	.031	-.134	.371**	.204*	/														
FAM - Erfolgserwartung	.051	-.135	.224*	.064	.173	/													
FAM - Misserfolgsanreiz	-.023	.129	.338**	.226*	-.163	-.366**	/												
FAM - Interesse	-.015	-.021	.153	.149	.18	.263**	-.024	/											
FAM - Herausforderung	-.011	-.069	-.174	-.210	.001	.008	.239*	.476**	/										
Qualität Werkzeugnutzung	.069	-.379**	.237*	.098	.133	-.099	-.045	.118	-.031	/									
Dauer Aufzeichnungen	-.061	.017	-.041	-.01	-.072	-.212*	.292**	-.024	-.088	.159	/								
Dauer Werkzeugnutzung	-.254*	.064	.064	.088	.046	-.249	.064	-.071	.040	-.069	.157	/							
Dauer gesamtes Lernen	-.213	.128	-.054	-.058	-.102	-.289**	.318**	.021	.021	.054	.676**	.802**	/						
Selbstberichtete Lernstrategien	-.246*	.071	-.092	-.14	-.022	.015	.230*	-.109	.098	-.088	.063	.144	.134	/					
Wissenstest	-.228*	.023	.006	-.034	.099	-.064	.287**	.277**	.197*	.099	.188	.305**	.361**	.047	/				
Wissenstest Makropropositionen	-.09	.047	.132	.166	.101	.045	.103	.365**	.1	.005	.124	.131	.226*	-.117	.570**	/			
Wissenstest topologische Items	-.216*	.022	.000	-.075	.174	-.058	.265**	.274**	.202*	.06	.076	.168	.220*	-.039	.920**	.611**	/		
Wissenstest operative Items	-.132	.093	.059	.104	.035	.144	.165	.239*	.090	.106	.054	.317**	.304**	.177	.664**	.521**	.457**	/	
Lokalisationsaufgaben	-.147*	-.155	.064	-.040	.103	-.062	.157	.161	.088	.099	.087	.149	.216*	.147	.445**	.573**	.442**	.327**	/
Steuerungsaufgabe	-.14	-.071	.192	.128	-.023	.177	-.074	.279**	.052	.132	-.001	.225*	.228*	.126	.485**	.496**	.418**	.513**	.4**

Anmerkung: * signifikant auf dem 5%-Niveau.
 ** signifikant auf dem 1%-Niveau.

Danksagung

So eine Arbeit wird eigentlich nie fertig, man muss sie für fertig erklären, wenn man nach Zeit und Umstände das Möglichste getan hat.

Johann Wolfgang von Goethe (Italienische Reise, 1787)

In diesem Sinne danke ich sehr den folgenden Personen, ohne die es nichts als fertig zu erklären gäbe:

Prof. Dr. Raimund Schindler

Prof. Dr. Hartmut Wandke

Prof. Dr. Wolfgang Schöll

Joachim Warning

Isabell Hühnel

Julia Steudte

Steffen Elsner

Katrin Ernst

Dr. Jens Nachtwei

Prof. Dr. Luzi Beyer

und

Kathrin Friederici