

Trainings in Mensch-Maschine-Systemen

**Strategien zur Unterstützung des Erwerbs
mentaler Kausalmodelle**

vorgelegt von
Diplom-Psychologin
Anne Klostermann

Von der Fakultät V – Verkehrs- und Maschinensysteme
der Technischen Universität Berlin
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktorin der Philosophie (Dr. phil.)

genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss:

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Matthias Rötting

Gutachter: Prof. Dr. Manfred Thüring

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Leon Urbas

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 07. April 2011

Berlin 2011

D 83

ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich zum Einen mit der theoriegeleiteten Entwicklung von Annahmen zum Erwerb mentaler Kausalmodelle über komplexe technische Systeme und zum Anderen mit der empirischen Überprüfung der Wirksamkeit von computerbasierten Trainingsstrategien zur Förderung dieses Wissenserwerbs. Komplexe technische Systeme sind durch einen hohen Grad an Automatisierung gekennzeichnet und stellen hohe Anforderungen an die kognitive Leistungsfähigkeit der Menschen, die in diesen Systemen arbeiten. Dementsprechend kommt der Ausbildung und kontinuierlichen Qualifizierung von Operateuren eine tragende Rolle zu. Neben traditionellen Schulungs- und Ausbildungseinheiten werden zunehmend auch computerbasierte Schulungseinheiten eingesetzt. Diese eignen sich ebenfalls für das Trainieren spezifischer Wissensinhalte, wie beispielsweise das Wissen über Ursache-Wirkungsbeziehungen innerhalb von Teilprozessen. Eine Anforderung bei der Entwicklung solcher Trainingssysteme besteht darin, die theoriegeleiteten Erkenntnisse über menschliche Wissenserwerbs- und Informationsverarbeitungsprozesse zu berücksichtigen, um eine optimale Qualifizierung für die kognitiv unterschiedlich stark beanspruchenden Tätigkeiten gewährleisten zu können. Eine weitere Anforderung besteht darin, die didaktische Aufbereitung der computerbasierten Trainingsmaterialien auf Theorien zu multimedialem Lernen aufzubauen. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, einen Beitrag zur Annäherung an diese Anforderungen zu liefern. Auf der Grundlage von Theorien zum kausalen Wissenserwerb wurde ein Rahmenmodell zur Beschreibung des Erwerbs mentaler Kausalmodelle über komplexe technische Systeme entwickelt. Dieses Rahmenmodell dient als Grundlage für die Auseinandersetzung mit relevanten Multimedia-Prinzipien zur Gestaltung computerbasierter Trainingssysteme. In enger Anlehnung an die im Rahmenmodell beschriebenen Aspekte des Wissenserwerbs werden didaktische Strategien zur computerbasierten Wissensvermittlung sowie Prinzipien der Multimediapsychologie vorgestellt und diskutiert. Diese Strategien bilden, gemeinsam mit dem Rahmenmodell, die Grundlage für die Ableitung eines Trainingskonzepts zur Förderung des Erwerbs mentaler Kausalmodelle über komplexe technische Systeme.

In drei empirischen Studien wurden, ausgehend von diesem Trainingskonzept, verschiedene Trainingsstrategien entwickelt und untersucht. Der Fokus lag auf den Auswirkungen der Trainingsstrategien auf die Leistungen bei der Systeminteraktion und bei der Wissensdiagnose. Als Versuchsumgebung diente die Simulation eines technischen Systems. In der

empirischen Studie 1 wurden holistische und sukzessive Visualisierungsvarianten einem textbasierten Training gegenüber gestellt. Zusätzlich wurde das Ausmaß an Lernerbeteiligung variiert. Die Ergebnisse zeigen einen leichten Vorteil der beiden Visualisierungsvarianten für die Unterstützung des Erwerbs von Systemwissen, jedoch keine Unterschiede im Erwerb von Ursache-Wirkungswissen und bei der Leistung in der Systeminteraktion. In der empirischen Studie 2 wurde die Darstellung der sukzessiven Visualisierungsvariante optimiert und einem textbasierten Training gegenüber gestellt. Als ein weiterer Faktor wurde die Interaktion mit dem zu bedienenden System als Bestandteil des Trainings variiert. Es konnte gezeigt werden, dass eine Kombination aus Visualisierung und Systeminteraktion sowohl für den Wissenserwerb als auch für die Fähigkeit, ein technisches System zu bedienen, förderlich ist. In der empirischen Studie 3 wurde der Einfluss von mentaler Simulation (= Envisioning) als Trainingsstrategie untersucht und einer Kontrollbedingung gegenübergestellt, in der die Probanden ohne mentale Simulation trainiert wurden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Anleitung von Envisioning-Prozessen Vorteile für den Erwerb von kausalen Wissensstrukturen gegenüber dem alleinigen Experimentieren bietet. Für die Leistung bei der Systeminteraktion hingegen konnten keine Vorteile der strukturierten Anleitung von Envisioning-Prozessen gegenüber der Kontrollbedingung gezeigt werden.

Die Ergebnisse dieser Arbeit lassen sich unter drei Aspekten zusammenfassen. Der erste Gesichtspunkt betrifft den theoretischen Beitrag der Arbeit. Im Theorieteil wurden verschiedene Theorien zum mentalen Modellerwerb integriert und ein Rahmenmodell zum Erwerb mentaler Kausalmodelle formuliert, auf dessen Grundlage ein Trainingskonzept für komplexe Systeme entwickelt werden konnte. Der zweite Gesichtspunkt betrifft die experimentelle Überprüfung von Trainingsstrategien, die sich auf das Rahmenmodell beziehen und aufzeigen, welche Potenziale sowohl das Rahmenmodell als auch das Trainingskonzept als Grundlage für die Untersuchung von Trainingsstrategien haben. Der dritte Gesichtspunkt schließlich betrifft den praktischen sowie erkenntnistheoretischen Beitrag dieser Arbeit. Das Rahmenmodell kann als Grundlage für ein ganzheitliches Trainingskonzept herangezogen werden, weil es für jede Ebene des Wissenserwerbsprozesses Ansatzpunkte zur Gestaltung von Trainingseinheiten liefert. Exemplarisch konnte dieses Vorgehen für Teile des Trainingskonzeptes erfolgreich gezeigt werden, so dass eine Überprüfung der weiteren Bestandteile des Trainingskonzeptes viel versprechend erscheint.

SUMMARY

The present work deals with the theoretical development of assumptions concerning the acquisition of mental causal models of complex systems and the empirical testing of computer-based training strategies for the enhancement of mental causal model acquisition. Complex technical systems have a high degree of automation, and integration of system components; they are highly dynamic and non-transparent. This implies high requirements for the cognitive performance of the operators working in these systems. Accordingly, operator trainings and development play an important role, and a wide variety of training approaches exist in practice. Beside traditional operator trainings, computer-based trainings are applied increasingly. They are especially useful for the training of specific knowledge contents, e.g. knowledge about cause-and effect relations of sub-processes. When developing training systems, a first requirement is that insights about human knowledge acquisition and information processing should be considered, in order to guarantee an optimal qualification of operators for the cognitively varying tasks. As a second requirement, the didactic format of the training material should rely on theories of multimodal learning. The aim of the present work is to provide a contribution to these requirements. Based on theories of causal knowledge acquisition, a framework for mental causal model acquisition of complex technical systems was developed. This framework forms the basis for the examination of relevant multimedia design principles. In close dependence on the framework, didactic strategies for computer-based knowledge transfer and multimedia psychology principles are presented and discussed. These strategies and the framework provide the basis for the deduction of a training concept for the enhancement of causal mental model acquisition.

In three empirical studies different training strategies have been developed and tested. The focus was on the effects of the training strategies on the performance in system interaction and in knowledge tests, both forming indicators for the quality of the mental causal model. The simulation of a technical system served as experimental platform. The first empirical study investigated holistic, gradual and text-based training strategies, combined with a varying degree of learner participation. The results concerning system knowledge show a slight advantage of the holistic and gradual trainings over the text-based training, although there could be shown no differences concerning the cause-and-effect knowledge and the system performance. In the second empirical study, the presentation of the gradual training strategy was optimised and compared to a text-based training. As a second factor, the system

interaction was varied. Results show that a combination of gradual visualisation and system interaction has a positive influence on both knowledge acquisition and performance in system interaction. The third empirical study aimed at investigating the influence of guided mental simulation (envisioning) compared to unguided system interaction. Results show that guided mental simulation is beneficial for the causal knowledge acquisition, yet there is no provided evidence for advantages for the performance in system interaction.

The results of this thesis can be recapitulated regarding three aspects. The first one concerns the theoretical contribution. In the theoretical part of the thesis, various mental model theories have been integrated into a framework for mental causal model acquisition. This framework serves as the basis for the development of a training concept. The second aspect concerns the experimental examination of training strategies referring to the framework, in the course of which the potentials of the framework and the training concept could be demonstrated. The third aspect relates to both the practical and the epistemological contribution. The framework can be seen as the basis for a holistic training concept, since it offers starting points for the design of training units for every level of the knowledge acquisition process. This procedure was demonstrated exemplary for parts of the training concept: an examination of the further components of the training concept thus seems very promising.

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich während meiner Arbeit an der Dissertation begleitet und unterstützt haben. Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Manfred Thüring, der die Arbeit in allen Phasen ihrer Entstehung betreut und die Entwicklung und Umsetzung meiner Forschungsideen mit wertvollen Anregungen und konstruktiven Diskussionen begleitet hat. Dadurch hat er auf motivierende Art zum Gelingen der Arbeit beigetragen. Ebenso danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Leon Urbas, der die Arbeit begleitet und immer wieder Zeit gefunden hat, mir die ingenieurwissenschaftlichen Einblicke, die für die Auseinandersetzung mit der Forschungsthematik notwendig waren, näher zu bringen.

Mein Dank gilt der Deutschen Forschungsgemeinschaft, die mir durch ein Stipendium im Graduiertenkolleg „Prospektive Gestaltung von Mensch-Technik-Interaktion“ die Arbeit an dieser Dissertation ermöglicht hat. In diesem Zusammenhang danke ich ebenfalls allen Mitgliedern des Graduiertenkollegs prometei für die anregenden Diskussionen und den interdisziplinären Austausch, durch den für mich oftmals neue Sichtweisen auf Forschungsfragen entstanden sind. Ein besonderer Dank gilt Sascha Mahlke, Jeronimo Dzaack, Nicola Fricke, Charlotte Glaser und Carmen Bruder für die vielen wertvollen Kommentare und die Anregungen zur kritischen Auseinandersetzung mit meiner Arbeit. Stefan Röttger und Juliane Reichenbach danke ich sehr herzlich für den Austausch und die wertvollen Hinweise bei der Einarbeitung in die Simulation AutoCAMS 2.0.

Ich bedanke mich bei allen Studenten, die durch ihre Mitarbeit am Gelingen dieser Arbeit beteiligt waren, insbesondere Jasmin Hannighofer, Michael Roschankow und Jan Lassen. Ich danke Mario Lasch, Stefan Damke, Nikolaus Rötting und Marcus Bleil für die technische Unterstützung bei der Durchführung von Experimenten.

Für ihre Sorgfalt beim Korrigieren und für die vielen hilfreichen Anmerkungen zum Manuskript danke ich sehr herzlich Arne Fesche, Jeronimo Dzaack, Aileen Edele, Jan Klostermann und Ulrike Wiedensohler.

Ganz besonders möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken, die mich während der gesamten Zeit unterstützt und motiviert haben und mir den Freiraum geschaffen haben, dass ich diese Arbeit fertig stellen konnte.

INHALTSVERZEICHNIS

1	<u>EINLEITUNG</u>	6
2	<u>KOMPLEXE MENSCH-MASCHINE-SYSTEME: MERKMALE UND AUFGABEN</u>	9
2.1	KOMPLEXE MENSCH-MASCHINE-SYSTEME	10
2.2	AUFGABEN VON OPERATEUREN IN KOMPLEXEN SYSTEMEN	13
2.2.1	KLASSIFIZIERUNG VON OPERATEURAUFGABEN	14
2.2.2	STEUERUNG UND ÜBERWACHUNG	16
2.2.3	FEHLERDIAGNOSE- UND FEHLERMANAGEMENT	20
3	<u>ZUR ROLLE DES WISSENS IN KOMPLEXEN SYSTEMEN: MENTALE KAUSALMODELLE</u>	25
3.1	WISSEN IN KOMPLEXEN SYSTEMEN	25
3.1.1	DEKLARATIVES UND PROZEDURALES WISSEN	26
3.1.2	WISSENSERWERB IN KOMPLEXEN SYSTEMEN	28
3.2	MENTALE KAUSALMODELLE TECHNISCHER SYSTEME	29
3.2.1	DAS KONZEPT MENTALER KAUSALMODELLE	30
3.2.2	MENTALE MODELLE NACH NORMAN	32
3.2.3	DIE ABSTRAKTIONSHIERARCHIE VON RASMUSSEN	36
3.2.4	MENTALE MODELLE NACH MORAY	38
3.2.5	MENTALE KAUSALMODELLE NACH DE KLEER UND BROWN	40
3.2.6	MENTALE KAUSALMODELLE NACH KIERAS UND BOVAIR	41
3.3	ABLEITUNG EINES RAHMENMODELLS ZUM ERWERB MENTALER KAUSALMODELLE	43
3.3.1	TOPOLOGISCHE REPRÄSENTATION	44
3.3.2	ENVISIONING UND INTERAGIEREN	45
3.3.3	KAUSALMODELL	47
3.3.4	SIMULATION UND KONSOLIDIERUNG	48
3.3.5	SYSTEMBEDIENUNG	48
4	<u>FÖRDERUNG DES WISSENSERWERBS DURCH TRAININGS</u>	50
4.1	TRAININGSANSÄTZE IN DER PRAXIS	51
4.2	ANFORDERUNGEN AN DAS TRAININGSDESIGN	53
4.2.1	VISUALISIERUNG ALS TRAININGSWERKZEUG	55
4.2.2	SEQUENZIERUNG VON LERNMATERIAL UND LERNERBETEILIGUNG	59
4.2.3	ANLEITUNG ZU MENTALER SIMULATION ALS TRAININGSWERKZEUG	61

Inhaltsverzeichnis	II
4.2.4 SYSTEMINTERAKTION ALS TRAININGSWERKZEUG	63
4.2.5 SPEZIELLE TRAININGSINHALTE	65
4.3 TRAININGSFORSCHUNG: EINSATZ VON SYSTEMSIMULATIONEN	68
4.3.1 VORTEILE UND NACHTEILE DES EINSATZES VON MIKROWELTEN	69
4.3.2 DIE SIMULATION AUTOCAMS 2.0	71
<u>5 TRAININGSKONZEPT ZUR UNTERSTÜTZUNG DES ERWERBS MENTALER KAUSALMODELLE</u>	73
5.1 BAUSTEIN 1: VISUALISIERUNG UND STRUKTURIERUNG	73
5.2 BAUSTEIN 2: ENVISIONING UND INTERAKTION	75
5.3 BAUSTEIN 3: MODIFIKATION UND KONSOLIDIERUNG	76
<u>6 EMPIRISCHE UNTERSUCHUNGEN</u>	78
6.1 EMPIRISCHE STUDIE 1: VISUALISIERUNG TOPOLOGISCHER STRUKTUREN	78
6.1.1 METHODE	78
6.1.2 ERGEBNISSE	88
6.1.3 DISKUSSION UND ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE	92
6.2 EMPIRISCHE STUDIE 2: VISUALISIERUNG VON KAUSALINFORMATIONEN	96
6.2.1 EXPLORATIVE VORUNTERSUCHUNG: AUSWAHL DES VERSUCHSMATERIALS	96
6.2.2 METHODE	97
6.2.3 ERGEBNISSE	102
6.2.4 DISKUSSION UND ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE	109
6.3 EMPIRISCHE STUDIE 3: ANLEITUNG VON ENVISIONING-PROZESSEN	112
6.3.1 METHODE	113
6.3.2 ERGEBNISSE	124
6.3.3 DISKUSSION UND ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE	128
<u>7 ALLGEMEINE DISKUSSION UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE</u>	133
7.1 HERAUSFORDERUNGEN BEI DER DURCHFÜHRUNG EXPERIMENTELLER TRAININGSSTUDIEN	133
7.2 DISKUSSION DER ERGEBNISSE VOR DEM HINTERGRUND DES RAHMENMODELLS UND DES TRAININGSKONZEPTES	137
7.2.1 TOPOLOGIEERWERB UND VISUALISIERUNG VON TRAININGSINHALTEN	137
7.2.2 STRUKTURIERTE ANLEITUNG VON ENVISIONING UND INTERAKTION	140
7.2.3 SYSTEMBEDIENUNG, MODIFIKATION UND KONSOLIDIERUNG	142
<u>8 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK</u>	145
<u>9 LITERATURVERZEICHNIS</u>	146

10 ELEKTRONISCHER ANHANG	161
ELEKTRONISCHER ANHANG A:	161
ANHANG A.1: TRAININGSVARIANTEN DER EMPIRISCHEN STUDIE 1	161
ANHANG A.2: DEMOGRAPHISCHER FRAGEBOGEN	161
ANHANG A.3: WISSENSFRAGEBOGEN MIT REFERENZANTWORTEN	161
ANHANG A.4: ERGEBNISSE DER STATISTISCHEN ANALYSEN DER EMPIRISCHEN STUDIE 1	161
ELEKTRONISCHER ANHANG B:	161
ANHANG B.1: MATERIAL DER VORUNTERSUCHUNG	161
ANHANG B.2: TRAININGSVARIANTEN	161
ANHANG B.3: DEMOGRAPHISCHER FRAGEBOGEN FÜR DIE EMPIRISCHEN STUDIE 2	161
ANHANG B.4: WISSENSFRAGEBOGEN MIT REFERENZANTWORTEN	161
ANHANG B.5: ERGEBNISSE DER STATISTISCHEN ANALYSEN DER EMPIRISCHEN STUDIE 2	161
ELEKTRONISCHER ANHANG C:	161
ANHANG C.1: DEMOGRAPHISCHER FRAGEBOGEN	161
ANHANG C.2: TRAININGSVARIANTEN DER STUDIE 3	161
ANHANG C.3: KONTROLLBOGEN (ENVISIONING-CHECKLISTE)	161
ANHANG C.4: WISSENSFRAGEBOGEN MIT REFERENZANTWORTEN	161
ANHANG C.5: ERGEBNISSE DER STATISTISCHEN ANALYSEN DER EMPIRISCHEN STUDIE 3	161

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 3.1: Die Abstraktionshierarchie nach Rasmussen (1983)	37
Abbildung 3.2: Erwerb von Kausalen Modellen nach de Kleer und Brown (1983)	40
Abbildung 3.3: Modell zum Erwerb mentaler Kausalmodelle	44
Abbildung 4.1: Trainingsablauf für Operator-Trainingssysteme (OTS) nach Urbas (1999)	53
Abbildung 4.2: Beispiel für die Visualisierung eines textbasierten Lernmaterials	55
Abbildung 5.1: Trainingskonzept zur Vermittlung mentaler Kausalmodelle	73
Abbildung 6.1.1: Screenshot des Displays von ManuCAMS 2.0	80
Abbildung 6.1.2: Darstellung der holistischen Trainingsvariante	82
Abbildung 6.1.3: Darstellung der sukzessiven Trainingsvariante	82
Abbildung 6.1.4.: Ergebnisse der MANOVA zum Systemwissen (Fehlerbalken +/- 1SD)	89
Abbildung 6.1.5: Interaktionseffekt für die Faktoren Visualisierung und Präsentationsmodus	90
Abbildung 6.2.1: Screenshot der Visualisierungs-Bedingung für Studie 2	98
Abbildung 6.2.2: Ausschnitt aus dem Verlaufsdisplay der AutoCAMS 2.0 Oberfläche	100
Abbildung 6.2.3: Mittelwerte und Standardabweichungen (SD +/- 2) für den Faktor Training	102
Abbildung 6.2.4: Ergebnisse zum Funktionswissen	104
Abbildung 6.2.5: Ergebnisse zum kombinierten System- und Funktionswissen (Bereichswissen)	105
Abbildung 6.2.6: Interaktionseffekt für Training und Zeitpunkt der CAMS-Interaktion	106
Abbildung 6.2.7: Ergebnisse für den Indikator Leistung roter Bereich / Hauptfaktor Training (+/- 1SD)	108
Abbildung 6.3.1: Screenshot des AutoCAMS 2.0 Displays	114
Abbildung 6.3.2: Mittelwerte und Standardabweichungen (SD +/-1) für die Leistung im Funktionswissen	126
Abbildung 6.3.3: Mittelwerte und Standardabweichungen (SD +/-1) für die Leistung im Fehlerdiagnosewissen	127

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2.1: Kognitive Aktivitäten nach Hollnagel: Simple Model of Cognition	15
Tabelle 2.2: Unterscheidung zwischen Open-loop- und Closed-loop- Kontrolle	18
Tabelle 3.1: Übersicht über deklarative und prozedurale Wissensformen	27
Tabelle 6.1.1: 3x2 faktorielles Untersuchungsdesign der empirischen Studie 1	83
Tabelle 6.1.2: Übersicht über die abhängigen Variablen der empirischen Studie 1	84
Tabelle 6.1.3: Übersicht über den Versuchsablauf der empirischen Studie 1	87
Tabelle 6.1.4: Mittelwerte und Standardabweichungen zum Systemwissen	88
Tabelle 6.1.5: Mittelwerte und Standardabweichungen zum Funktionswissen	89
Tabelle 6.1.6: Ergebnisse der MANOVA für die Güte der Systemsteuerung	91
Tabelle 6.1.7: Mittelwerte und Standardabweichungen für den Faktor Präsentationsmodus	91
Tabelle 6.2.1: 2x2 faktorielles Untersuchungsdesign der empirischen Studie 2	99
Tabelle 6.2.2: Übersicht über den Versuchsablauf der empirischen Studie 2	101
Tabelle 6.2.3: Mittelwerte und Standardabweichungen für den Wissensfragebogen	103
Tabelle 6.2.4: Ergebnisse der MANOVA - Berechnungen für die Güte des Wissens	105
Tabelle 6.2.5: Posthoc- Analysen für den Interaktionseffekt	107
Tabelle 6.2.6: Mittelwerte und Standardabweichungen für den Faktor Training	107
Tabelle 6.2.7: Mittelwerte und Standardabweichungen für den Faktor Zeitpunkt der Systeminteraktion	108
Tabelle 6.3.1: Klassifizierung der verwendeten AutoCAMS 2.0 Fehlerszenarien	116
Tabelle 6.3.2: Zweigruppenplan für die empirische Studie 3	118
Tabelle 6.3.3: Erweitertes zweifaktorielles Untersuchungsdesign für die empirische Studie 3	119
Tabelle 6.3.4: Übersicht über die abhängigen Variablen für Studie 3	120
Tabelle 6.3.5: Übersicht über den Versuchsablauf der Studie 3	123
Tabelle 6.3.6: Mittelwerte und Standardabweichungen für die abhängigen Variablen	125

1 EINLEITUNG

Mit der Einführung und Weiterentwicklung von modernen Technologien verändern sich die Arbeitsprozesse und Anforderungen in Mensch-Maschine-Systemen. Diese Veränderungen haben Auswirkungen auf die Aufgaben von Operateuren, die in diesen Systemen arbeiten (vgl. PARASURAMAN, SHERIDAN & WICKENS, 2000). Prozessführungstätigkeiten beispielsweise sind einerseits durch die Überwachung und Steuerung von automatisierten (Teil-) Systemen und seltenen Eingriffen in den Prozessablauf charakterisiert. Andererseits müssen Operateure bei auftretenden Störfällen zeitnah in der Lage sein, adäquate Fehlerdiagnosen zu stellen und geeignete Interventionen auszuwählen. In diesem Zusammenhang gibt es Bestrebungen, den Anforderungen durch entsprechende Gestaltung der Mensch-Technik-Interaktion gerecht zu werden. Dabei lassen sich klassischerweise zwei Herangehensweisen unterscheiden (vgl. SARTER, WOODS & BILLINGS, 1997). Bei einer technikzentrierten Herangehensweise steht die Automatisierung von immer mehr Teilsystemen im Vordergrund. Der Mensch wird weitgehend als Störfaktor betrachtet, dessen Einfluss durch Automatisierung minimiert werden soll. Vertreter der menschenzentrierten Perspektive hingegen stellen die Qualifizierung des Menschen und die Anpassung der Technik an den Menschen in den Vordergrund. Dabei dienen beispielsweise kognitive Aufgabenanalysen als Grundlage für die Beschreibung der Anforderungen, die für den Operateur bei der Ausführung seiner Arbeitsaufgaben entstehen (vgl. DE KEYSER, 1987). Einen Teilbereich dieser zweiten Perspektive betrifft die Beschreibung relevanter Wissensformen und Wissensinhalte, die für die Überwachung und Bedienung komplexer Systeme notwendig sind.

Bei der Ausführung ihrer Aufgaben sind die Operateure vor unterschiedliche Aufmerksamkeits- und Wissensanforderungen gestellt. Sie müssen die verschiedenen Elemente hochkomplexer Systeme kennen lernen und müssen wissen, wie diese Elemente interagieren. Dazu gehört das Verstehen von Input-Output-Beziehungen, die Vorhersage von Effekten ihrer eigenen Dateneingaben, Interface-Manipulationen, aber auch, die Fähigkeiten und Grenzen des Systems zu kennen (vgl. SARTER et al., 1997). Hierfür nutzen Operateure ihr Wissen über die Funktionsweise des technischen Systems und dessen Bedienung. Dieses Wissen kann als mentale Kausalmodelle, d.h. als eine Spezialform mentaler Modelle, verstanden werden, in denen das Wissen über Ursache-Wirkungs-Beziehungen im System repräsentiert wird. Ein angemessenes mentales Kausalmodell über das zu bedienende System ermöglicht dem Operateur die Ausführung verschiedener Arbeitsaufgaben (z.B. Erklärung

und Vorhersage von unterschiedlichsten Systemzuständen und –verhalten, Entwicklung und Anwendung von Kontrollstrategien). Da Fehler in der Bedienung und Überwachung der Systeme schwerwiegende Konsequenzen zur Folge haben können, ist es notwendig, dass Operateure angemessene mentale Kausalmodelle über das System und dessen Bedienung aufbauen. Ausbildungskonzepte zielen darauf ab, den Erwerb von angemessenen Kausalmodellen zu fördern. In umfangreichen Ausbildungsprogrammen werden Operateure darauf vorbereitet, mit der Komplexität der zu überwachenden Systeme umzugehen sowie Bedien-, Überwachungs- und Kontrollstrategien einzuüben. Während dieser Zeit erwerben sie Wissen über die Funktionsweise und die Bedienung des Systems. Kognitionspsychologische und ingenieurpsychologische Theorien über kausales Lernen und mentale Modelle beschäftigen sich damit, wie Lernende Wissen erwerben, strukturieren und anwenden. Um den kognitiven Anforderungen der Arbeitsaufgaben, für die die Operateure trainiert werden sollen, Rechnung zu tragen, sollten diese Theorien ebenfalls bei der Gestaltung von computerbasierten Trainingssystemen berücksichtigt werden.

Es existiert eine große Bandbreite an Methoden, die im Zuge der Operateurausbildung zum Einsatz kommen (z.B. Unterrichtseinheiten, Vorträge, Schulungen, Unterweisungen, Vorträge, Übungen, angeleitete Teilnahme, vgl. STROHSCHNEIDER, 2008). Eine spezielle Methode stellen computerbasierte Trainingssysteme (wie z.B. E-Learning-Module, Blended-Learning-Module, (vgl. BÜRG & MANDL, 2004; MANDL & KOPP, 2006) dar, die von den Operateuren im Rahmen von Selbstschulungen angewendet werden und in denen spezielle Wissensinhalte vertieft, Kenntnisse über Teilanlagen und Subsysteme oder die Ausführung spezieller Bedienprozeduren geschult werden (vgl. REY, 2009). Die Komplexität moderner Systeme kann nicht vollständig mit Trainingsprogrammen abgedeckt werden (vgl. SARTER et al., 1997). Dies führt dazu, dass Operateure nur einen Teil von Techniken im Umgang mit Routinetätigkeiten kennen lernen. Zugleich entsteht dadurch ein kontinuierlicher Trainings- und Lernbedarf. SARTER et al. (1997) weisen besonders darauf hin, dass nicht einfach nur die Dauer der bereits bestehenden Trainings verlängert werden sollte, sondern dass neue Trainingsansätze entwickelt werden müssen. Didaktische Konzepte der Multimediapsychologie (vgl. MAYER, 2001) bieten Hinweise zur Gestaltung von Lernumgebungen an und sollten auf den Anwendungskontext komplexer Mensch-Maschine-Interaktion übertragen werden, um eine optimale Passung von Lernstoff und Darstellungsform herstellen zu können. Eine Kombination von Theorien zum kausalen Lernen und adäquaten Multimedia-Gestaltungsprinzipien scheint einen brauchbaren Ansatzpunkt zu bieten, sowohl zu berück-

sichtigen, wie Lernende Wissen erwerben als auch, welche speziellen didaktischen Prinzipien für unterschiedliche Informationsarten sinnvoll eingesetzt werden können.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die theoriegeleitete Entwicklung und die empirische Überprüfung von computerbasierten Trainingstools, die den Erwerb von mentalen Kausalmodellen über komplexe technische Systeme unterstützen. Der theoretische Teil der Arbeit (Kapitel 2 bis 4) ist in zwei Hauptteile untergliedert. Im ersten Teil werden die Wissensvoraussetzungen und Wissensmerkmale von Operateuren in komplexen Arbeitssystemen behandelt. Dies beginnt zunächst mit einer Klassifizierung der Merkmale komplexer Mensch-Maschine-Systeme sowie den Aufgaben, die Operateure im Rahmen von Prozesskontrolltätigkeiten ausführen. Diese Beschreibung dient als Grundlage für die weitere Auseinandersetzung mit den charakteristischen Wissensarten, ihrer Repräsentation und dem Wissenserwerb. Als ein wesentliches Wissensrepräsentationsformat werden Theorien zu mentalen Kausalmodellen im Forschungsgebiet der Mensch-Maschine-Interaktion vorgestellt. Ausgehend von diesen Theorien zu mentalen Kausalmodellen wird in Kapitel 3 ein Rahmenmodell zum Erwerb mentaler Kausalmodelle formuliert, das als Grundlage für die Ableitung von computerbasierten Trainingsstrategien dient. Der zweite Teil des theoretischen Hintergrunds beschäftigt sich mit der Qualifizierung von Operateuren und gängigen Trainingskonzepten. In Kapitel 4 werden didaktische Konzepte im Bereich computerbasierter Trainingsforschung, Theorien zum multimedialen Lernen sowie Trainingsansätze für charakteristische Operateurtätigkeiten wie Überwachung, Steuerung und Störungsdiagnosen vorgestellt. Das Rahmenmodell zum Erwerb mentaler Kausalmodelle sowie die vorgestellten Trainingsansätze bilden in Kapitel 5 die Grundlage für die Ableitung eines Konzeptes zur Gestaltung von computerbasierten Trainings. In Kapitel 6 werden drei empirische Studien vorgestellt, die sich mit Realisierungen des Trainingskonzeptes befassen. Die erste empirische Studie befasst sich mit den Auswirkungen der Visualisierung von Prozesszusammenhängen sowie dem Ausmaß an Lernerbeteiligung als Trainingsstrategie. Die zweite empirische Studie untersucht die gemeinsame Wirkung von Visualisierungsformen und den Einfluss der Systeminteraktion im Wissenserwerbsprozess. In der dritten empirischen Studie wird die Wirkung der systematischen Anleitung des Envisionings auf den Wissenserwerb sowie die Bearbeitung von Fehler-szenarien untersucht. In Kapitel 7 werden die Ergebnisse aus den empirischen Studien vor dem Hintergrund der aufgeworfenen Fragen diskutiert und hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit für die prospektive Gestaltung von Mensch-Technik-Interaktion diskutiert und zusammengefasst.

2 KOMPLEXE MENSCH-MASCHINE-SYSTEME: MERKMALE UND AUFGABEN

Ein Mensch-Maschine-System lässt sich in Anlehnung an TIMPE und KOLREP (2002, S.10) als das zielgerichtete Zusammenwirken von Personen mit technischen Systemen zur Erfüllung eines vorgegebenen oder selbst gestellten Auftrags beschreiben. Das Mensch-Maschine-System hat eine rückgekoppelte Struktur, in der ein Mensch oder ein Team auf der Grundlage von vorgegebenen Zielen, Aufträgen oder Rückmeldungen aus dem System Entscheidungen trifft und das technische System steuert. Die in der Industrie existierenden Mensch-Maschine-Systeme reichen in ihrer Vielfalt der auszuführenden Tätigkeiten von der Überwachung von Schienennetzen bis hin zur Überwachung von Prozessen in großtechnischen Anlagen (wie z.B. in der chemischen Industrie oder der Kernindustrie). Im Zuge der voranschreitenden Automatisierung und Technologisierung haben sich die Tätigkeiten und somit die Anforderungen an Operateure verändert. Immer mehr Funktionen werden automatisiert und vom technischen Teilsystem übernommen. Der Operateur führt dementsprechend zunehmend Aufgaben der Überwachung und Diagnose aus. Kognitive Prozesse, angefangen von Aufmerksamkeits- und Wahrnehmungsprozessen über Gedächtnisprozesse bis hin zu Entscheidungen und Handlungsausführungen werden dabei wirksam. Menschen in der Interaktion mit und als Bestandteil von komplexen dynamischen Mensch-Maschine-Systemen haben als Gegenstandsbereich kognitions- und ingenieurpsychologischer Forschung eine lange Tradition (z.B. MÜNSTERBERG, 1914; BLUMENFELD, 1928; SHERIDAN, 1960; JOHANNSEN, 1993).

Interdisziplinäre Ansätze der Regelungstechnik und der Ingenieurpsychologie verfolgen das Ziel, durch Beschreibungen von Aufgabenanforderungen, die aus der Auslegung des technischen Subsystems und den Leistungsvoraussetzungen auf der Seite des Operateurs resultieren, Hinweise für eine optimierte Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen zu erlangen. Eine wichtige Rolle spielt in diesem Zusammenhang die Einbeziehung des Wissens, das der Operateur über das technische System und seine Bedienung besitzt. Um die Überwachungs- und Kontrollaufgaben ausführen zu können, muss der Operateur wissen, wie das System funktioniert, welche Eingriffe in das System möglich sind, und wie er auf Störungen des normalen Ablaufs reagieren kann. Der Operateur muss also über eine interne Repräsentation der Funktionsweise des Systems verfügen. In der Mensch-Maschine-

Interaktionsforschung wird diese interne Wissensrepräsentation unter dem Begriff des mentalen Modells diskutiert. Das mentale Modell eines Bedieners über ein System kann, je nach der Beschaffenheit des entsprechenden Systems, unterschiedlich komplex sein. Die Interaktion mit relativ einfachen Systemen, wie beispielsweise einem Handy oder einem MP3-Player, stellt im Vergleich zu der Überwachung und Steuerung hochkomplexer automatisierter Prozesse wie der Überwachung eines chemischen Prozesses in der Leitwarte, geringere Anforderungen an das Wissen und die Fertigkeiten einer Person. Im folgenden Kapitel werden Ansätze zur Beschreibung der Merkmale von Komplexität in Mensch-Maschine-Systemen vorgestellt.

2.1 Komplexe Mensch-Maschine-Systeme

Der Gegenstandsbereich der Komplexität in Mensch-Maschine-Systemen lässt sich aus verschiedenen Blickwinkeln betrachten. KLUWE (1996, S.15) klassifiziert komplexe Systeme in Anlehnung an die Problemlöseforschung (vgl. DÖRNER, 1981, 1989; FUNKE, 2003; SCHAUB, 1993). Die Arbeiten zum komplexen Problemlösen fokussieren die entscheidenden Faktoren, die den Menschen in komplexen Situationen Schwierigkeiten beim Bearbeiten komplexer Probleme bereiten. Komplexe Systeme sind *umfangreich*, weil viele Komponenten auf mehr oder weniger komplizierte Weise miteinander verbunden sind. Der Operator kann diesen Umfang auf verschiedenen Wegen reduzieren: einerseits kann er entscheiden, welche Komponenten für die Ausführung einer spezifischen Aufgabe wichtig und welche unwichtig sind und sie in ihrer Relevanz gewichten. Andererseits kann er die Teilkomponenten eines Systems aufgrund von funktionalen oder informationellen Zusammenhängen zu neuen Einheiten zusammenstellen, um somit zu einer Verdichtung von Informationen zu gelangen. Ferner zeichnen sich komplexe Systeme durch die Eigenschaft ihrer *Dynamik* aus, im Besonderen durch ihre Eigendynamik. Zukünftige Systemzustände sind sowohl von vergangenen Systemzuständen als auch von den Eingaben abhängig, die vom menschlichen Operator, von Computern oder von der Umwelt in dieses System eingespeist werden. Dementsprechend verändert sich ein eigendynamisches System auch ohne direkte Eingriffe des Operators. Ein weiterer Faktor ist die *Intransparenz* komplexer Systeme, d. h. der Operator kann sie nicht vollständig einsehen. Er muss sich darüber bewusst sein, dass seine Abbildung des Systemzustands (d. h. sein mentales Modell) unvollständig ist. Dies wird besonders relevant bei Abweichungen oder Störungen im normalen Prozessverlauf. KLUWE (1996)

verweist in diesem Zusammenhang auf die Notwendigkeit der Ausbildung von Diagnose-Strategien, die es dem Operateur erlauben, gezielte Eingriffe in das System vorzunehmen, um so Informationen über das Verhalten von relevanten Systemkomponenten zu erhalten. Der Faktor *Vernetztheit* bezeichnet die vielfältige Interaktion der Teilkomponenten komplexer Systeme. Die Teilkomponenten eines Systems haben unterschiedlich viele Verbindungen zu den jeweils anderen Teilkomponenten eines Systems, manchmal bestehen Rückkopplungsschleifen und es müssen immer auch Neben- und Fernwirkungen beachtet werden. Dies macht es notwendig, dass Operateure in Form von Kausalnetzen anstelle von Kausalketten denken.

Eine weitere Klassifikation komplexer Systeme findet sich bei WICKENS und HOLLANDS (2000). Sie beziehen sich im Gegensatz zu KLUWE (1996) allerdings deutlicher auf die Rolle des Operateurs in komplexen und hochautomatisierten Arbeitssystemen und gehen bei ihrer Beschreibung deutlicher auf die Aufgaben des Operateurs und die der Automatisierung, je nach Anwendungsdomäne, ein. Sie definieren die domänenübergreifenden Merkmale komplexer Systeme im Zusammenhang mit mentalen Modellen anhand von vier generellen Charakteristika und liefern daher eine gute Grundlage für die Beschreibung der Aufgabenanforderungen, die im Zuge der Gestaltung von Trainingstools berücksichtigt werden sollten.

(1) *Zeitverhalten*: Die Variablen, die vom Operateur kontrolliert werden, sind häufig sehr langsam. Es existieren sehr lange Zeitkonstanten, daher kann es auch vorkommen, dass die Systemantworten auf Eingriffe des Operateurs in einer zeitlichen Verschiebung von mehreren Sekunden oder sogar Minuten geschehen. Der Operateur kontrolliert also häufiger *Outer-loop*-Variablen, während automatisierte Teilsysteme die *Inner-loop*-Kontrolle ausführen. So wird der Operateur in einem Hochofen beispielsweise einen Sollwert für die gewünschte Temperatur auswählen, und das automatisierte Teilsystem wird die Menge an Öl und Energie liefern und dafür sorgen, dass nach einer zeitlichen Verzögerung dieser Wert erreicht wird. Als eine Konsequenz dieser langsameren Kontrolle stehen Entscheidungsverhalten, Aufmerksamkeitslenkung, Wahrnehmung und Gedächtnis im Fokus der Untersuchungen von Operateuraufgaben in komplexen Mensch-Maschine-Systemen.

(2) *Kontinuität*: Die zu kontrollierenden Prozesse sind überwiegend analog und kontinuierlich. Dies steht in Widerspruch zur Prozessregelung des Operateurs, der die Bedienelemente häufig in diskreter Form anpasst. Bei der Wissensvermittlung ist demnach darauf zu achten, dass der Aufbau des mentalen Modells des Operateurs so unterstützt wird, dass es eher analog und kontinuierlich als diskret und symbolisch ist.

(3) *Vernetzung*: Der Prozess besteht aus einer großen Anzahl von interagierenden Variablen. Manche von ihnen sind hierarchisch organisiert, andere wiederum netzwerkartig, so dass sich die Zustandsänderung einer Variable simultan auf viele andere Variablen auswirkt. Diese Komplexität ist im Hinblick auf die Genauigkeit des mentalen Modells des Operators sehr bedeutsam: sowohl in normalen Systemabläufen als auch beim Auftreten von Störungen muss der Operator dazu in der Lage sein, die Auswirkung seiner Systemeingriffe auf die Prozessvariablen richtig einzuschätzen.

(4) *Risiko*: Viele der Prozesse sind durch ein hohes Risiko bei auftretenden Störungen gekennzeichnet. Operateure müssen häufig auf der Grundlage von konkurrierenden Zielen arbeiten, wie beispielsweise das Abwägen von Produktivität und Profit gegenüber Sicherheit. Dieser Abgleich beeinflusst ebenfalls die Entscheidungen und Handlungen der Operateure.

Auch PERROW (1992) beschreibt die Komplexität von Mensch-Maschine-Systemen hinsichtlich der Bedienungsaufgaben des Operators. Er beschreibt die Komplexität in Mensch-Maschine-Systemen anhand des Merkmals komplexer Interaktionen. Diese treten außerhalb des normalen Betriebsablaufs auf und erschweren es dem Operator aufgrund ihrer Undurchschaubarkeit und Unerwartetheit, das System zu bedienen: „Komplexe Interaktionen sind entweder geplant, aber den Operateuren nicht vertraut, oder ungeplant und unerwartet, und sie sind für das Bedienungspersonal entweder nicht sichtbar oder nicht unmittelbar durchschaubar.“ (S.115). Ein weiterer Faktor, der die Komplexität von Interaktionen erhöht, besteht darin, dass Informationen über den Zustand von Systemkomponenten oder Prozessen oft nur aus indirekten Indikatoren ermittelt werden können. Dies erschwert die Diagnosen des wirklichen Zustands und führt nicht selten zu Fehlern, wie z.B. bei der Diagnose des Kühlwasserstands im Reaktorkern von Three Mile Island. Dieser konnte aus Sicherheitsgründen nicht direkt festgestellt werden, sondern musste über indirekte Indikatoren erhoben werden, deren Messung durch die Bildung von Gasblasen erschwert und ungenau wurde (vgl. PERROW, 1992). Die Weiterentwicklung von technischen Systemen, die PERROW (1992) unter dem Stichwort der Transformationsprozesse zusammenfasst, beeinflusst das Verständnis von Prozessen dahingehend, dass es unvollständiger wird und folglich ebenfalls Auswirkungen auf die Komplexität von Interaktionen hat. Von den komplexen unterscheidet PERROW (1992) lineare Interaktionen, die sich aus einem erwarteten oder bekannten Produktionsablauf ergeben oder für den Operator durchschaubar sind, wenn sie außerplanmäßig auftreten, und die in allen Systemen die überwiegende Mehrheit darstellen.

Jede der dargestellten Betrachtungsweisen liefert eine Grundlage für die Beschreibung der Aufgaben und Tätigkeiten, die sich für den Operateur durch die Komplexität und ihre Auswirkungen ergeben. Diese Aufgaben stellen Anforderungen an kognitive und motorische Leistungsvoraussetzungen des Operateurs. Ein notwendiger Schritt für die Ableitung der Wissensvoraussetzungen ist die Beschreibung der Tätigkeiten und Aufgaben, die Operateure in komplexen Systemen ausführen.

2.2 Aufgaben von Operateuren in komplexen Systemen

SHERIDAN (2002) kann als einer der grundlegenden Vordenker über die Rolle des Operateurs in komplexen Mensch-Maschine-Systemen angesehen werden (vgl. MORAY, 1990). Die Verlagerung der Aufgaben und Tätigkeiten von vorwiegenden Prozesssteuerungsaufgaben hin zu Überwachungs-, Diagnose- und Planungsaufgaben wird in der ingenieurpsychologischen Forschung unter dem Begriff der *supervisory control* diskutiert (vgl. SHERIDAN & PARASURAMAN, 2006; SHERIDAN, 1992; MORAY, 1986). Dieser Begriff geht auf das von Sheridan eingeführte Konzept der *human meta-control* (SHERIDAN, 1960) zurück. Es beschreibt die Rolle des Operateurs in Arbeitssituationen, in denen der Prozessablauf räumlich entfernt von der Kontrolle stattfindet und in denen eine manuelle Steuerung nicht möglich ist. Der Operateur gibt lediglich Anweisungen an das System, das dieses dann selbstständig ausführen muss. Der Operateur überwacht die Ausführung und greift im Notfall korrigierend mit neuen Systeminstruktionen ein.

Waren frühere Tätigkeiten durch vielfältige Eingriffe in den Prozess geprägt, haben sich die Tätigkeiten heute dahingehend verlagert, dass Prozesse vorwiegend überwacht werden. Eine Folge ist, dass Operateure nur selten in teil- oder vollautomatisierte Prozesse eingreifen. Die seltenen Eingriffe in den Prozess können mangelnde Übung von grundlegenden Prozesskontrolltätigkeiten oder Vigilanzprobleme zur Folge haben (vgl. SARTER, WOODS & BILLINGS, 1997). In den Arbeiten zu *supervisory control tasks* betont SHERIDAN (1960, 1997), dass die durch die Automatisierung verbleibenden Aufgaben für den Operateur nach wie vor sehr komplex und vielfältig sind, auch wenn sie auf den ersten Blick durch die Verlagerung von immer mehr Funktionen in die Maschine einfacher zu werden scheinen. Mit dieser Veränderung geht nicht zwangsläufig eine Entlastung der Operateure einher. So weist BAINBRIDGE (1998) darauf hin, dass Operateure trotz hoher Automatisierungsgrade nach wie vor kritische und bedeutsame Tätigkeiten, wie z.B. die Überwachung, Wartung, Anpassung etc. von Prozessen, erledigen müssen. Diese Aufgaben sind zum Teil sehr komplex und pro-

duzieren Fehler auf der Seite des menschlichen Operateurs. Es sind jedoch häufig gerade die Aufgaben, die für die Systementwickler gar nicht oder nur schwer zu automatisieren sind und daher nach wie vor vom Menschen ausgeführt werden müssen. Dies sind häufig komplexe Aufgabentypen, so dass durch die Automatisierung keine Entlastung des Operateurs stattfindet, sondern vielmehr der Grad der Beanspruchung verstärkt wird (vgl. SARTER et al., 1997).

2.2.1 Klassifizierung von Operateuraufgaben

Eine Grundlage für die Klassifizierung und Differenzierung der Aufgaben von Operateuren bieten Arbeits- und Aufgabenanalysen. Auch wenn es nicht möglich ist, die Vielfalt der Tätigkeiten in der industriellen Prozessführung bis ins Detail miteinander zu vergleichen, so können dennoch allgemein gültige Charakteristika für die Aufgabentypen definiert werden (vgl. JOHANNSEN, 1993). In der Literatur finden sich unterschiedliche Ansätze zur Beschreibung der Aufgaben von Operateuren. Einer Einteilung von ROUSE (1981) und HOLLNAGEL (1998) zufolge lassen sich 15 charakteristische kognitive Aktivitäten von Operateuren komplexer Systeme identifizieren (vgl. Tabelle 2.1). Jede dieser kognitiven Aktivitäten beinhaltet ein Mindestmaß an mentalen Aktivitäten (Informationsaufnahme, -verarbeitung und -umsetzung) und stellt unterschiedliche Anforderungen an diese. Einige der Aktivitäten erfordern lediglich die Interaktion mit der Benutzerschnittstelle, während andere die Manipulation von Weltwissen erfordern. HOLLNAGEL setzt die kognitiven Aktivitäten in einem *Simple Model of Cognition* (SMoC; HOLLNAGEL & CACCIABUE, 1991) zu vier grundlegenden kognitiven Funktionen in Beziehung (vgl. Tab. 2.1): (1) Beobachten, (2) Interpretieren, (3) Planen und (4) Ausführen. Auf der Grundlage dieses kognitiven Profils ist es möglich, die Anforderungscharakteristiken von Aufgaben und Teilaufgaben zu beschreiben sowie mögliche Fehler abzuleiten, die bei der Aufgabenausführung auftreten können. Allerdings weist HOLLNAGEL (1998) darauf hin, dass diese Auflistung an Tätigkeiten nicht auf die Ableitung von analytischen Prinzipien zurückgeht und daher keinen Anspruch auf Allgemeingültigkeit, Vollständigkeit oder Konsistenz erhebt. Sie soll vielmehr als praktische Orientierung bei der Tätigkeitsanalyse eines Operateurs verstanden werden, die beispielsweise im Rahmen von Arbeitsanalyse- und Gestaltungsmaßnahmen eingesetzt wird, um kognitive Anforderungsprofile zu entwickeln.

Tabelle 2.1: Kognitive Aktivitäten nach Hollnagel: Simple Model of Cognition

Kognitive Aktivitäten		Kognitive Funktionen			
		Beobachten	Interpretieren	Planen	Ausführen
1	Koordinieren von Systemkonfigurationen			X	X
2	Kommunizieren zwischen Bedienungspersonal				X
3	Vergleichen von Messungen i. Hinblick auf Abweichungen		X		
4	Erstellen von Diagnosen		X	X	
5	Evaluation von Zuständen		X	X	
6	Ausführen von Handlungen				X
7	Identifizieren von Systemzuständen		X		
8	Aufrechterhalten von Systemzuständen			X	X
9	Überwachung des Systems	X	X		
10	Beobachten von Werten oder Indikatoren	X			
11	Zielgerichtetes Planen von Handlungen			X	
12	Aufzeichnen von Messungen oder Systemereignissen		X		X
13	Regelung von Systemparametern	X			X
14	Scannen von Displays und anderen Informationsquellen	X			
15	Verifizierung von Messungen	X	X		

Jede der kognitiven Aktivitäten lässt sich in Bezug darauf spezifizieren, welche der vier kognitiven Funktionen sie benötigt. So erfordert das Aufrechterhalten von Systemzuständen beispielsweise Aktivitäten der Planung und Ausführung. Im Gegenzug lassen sich auch die vier kognitiven Funktionen hinsichtlich der kognitiven Aktivitäten beschreiben. Eine Ausführungsaktivität ist beispielsweise das Kommunizieren. HOLLNAGEL (1998) weist allerdings darauf hin, dass es nicht möglich ist, einzigartige Zuordnungen von kognitiven Funktionen zu kognitiven Aktivitäten zu vollziehen, da die kognitiven Funktionen nicht zufällig kombiniert werden können. Dieses Modell liefert eine erste Annäherung an die Charakteristiken von Operateurtätigkeiten. Die Auflistung der kognitiven Aktivitäten stellt eine brauchbare Grundlage für die Berücksichtigung von Trainingsinhalten dar. Allerdings fehlt eine klare Abgrenzung der Aufgabendimensionen, beispielsweise von Diagnose- und Evaluationsaufgaben. Hierzu vermerkt HOLLNAGEL (1998, S.247) lediglich: „The reason why they are sepa-

rate cognitive activities is that they refer to different characteristic tasks on the level of performance“. Eine weitere, häufig verwendete Unterteilung der Tätigkeiten von Operateuren in hochautomatisierten Systemen ist die Unterscheidung zwischen Überwachungs- und Steuerungstätigkeiten einerseits und Störungsdiagnose- und Managementtätigkeiten andererseits (vgl. WICKENS & HOLLANDS, 2000; BAINBRIDGE, 1983; MORAY, 2007). Die von HOLLNAGEL (1998) beschriebenen kognitiven Tätigkeiten lassen sich in diese Klassifikation ebenfalls einordnen. Die spezifischen Charakteristika dieser Tätigkeiten werden in den nächsten beiden Abschnitten eingehender beschrieben.

2.2.2 Steuerung und Überwachung

Zur Steuerung und Überwachung zählen Tätigkeiten, die im Rahmen von sowohl routinemäßigen Aufgaben wie beispielsweise der regulären Prozessüberwachung, der Wartung der Anlagenkomponenten oder Schichtübergaben als auch bei ungewöhnlichen Aufgaben wie beispielsweise das Anfahren der technischen Anlagen auftreten. Der oben beschriebenen Klassifikation von HOLLNAGEL (1998) folgend würden folgende Aktivitäten der Steuerung und Überwachung zugeordnet: (3) Vergleichen von Messungen im Hinblick auf Abweichungen, (7) Identifizieren von Systemzuständen, (8) Aufrechterhalten von Systemzuständen, (9) Überwachung des Systems, (10) Beobachten von Werten oder Indikatoren, (12) Aufzeichnen von Messungen oder Systemereignissen, (14) Scannen von Displays und anderen Informationsquellen. Diese Tätigkeiten haben jeweils spezifische Anforderungen an die Tätigkeitsausführung und sind durch verschiedene Grade an Unsicherheit in der Auswertung von Anzeigen und der Auswahl an korrekten Antworten geprägt (vgl. ROTH & WOODS, 1988). Das Anfahren der Anlage ist ein eher selten auftretendes Ereignis und stellt für den Operateur - auch wenn hierfür bereits standardisierte Prozeduren bestehen - keine Routineaufgabe dar. Diese sehr anspruchsvolle Aufgabe erfordert, verschiedenste Informationen auf den Anzeigen zu beachten und zu integrieren. Ist die Anlage hochgefahren und im stabilen Betriebszustand, bestehen die hauptsächlichen Aufgaben des Operateurs darin, verschiedene Prozessvariablen kontinuierlich zu überwachen und gegebenenfalls anzupassen, Prozessparameter innerhalb vorgegebener Grenzen zu halten und den Prozess auf sich verändernde Produktionskriterien einzustellen. Diese Routinetätigkeiten basieren auf regelbasiertem Verhalten mit intensiv geübten Beobachtungsstrategien und Prozeduren der manuellen Kontrolle. Unter normalen Prozessbedingungen muss sich der Operateur überwiegend auf einen vorwärtsgerichteten Kausalfluss konzentrieren, in dem er kontinuierlich seine Aufmerksamkeit darauf

richtet, welches Ereignis welchen Zustand zur Folge haben wird (vgl. LANDEWEERD, 1979). Treten Störungen im Normalbetrieb auf, muss der Operateur entweder selbständig eingreifen oder ein erfahrener Kollege muss gerufen werden, um die manuelle Prozesssteuerung zu übernehmen (vgl. BAINBRIDGE, 1983). Diese Übernahme erfordert ein grundlegendes Maß an manuellen Prozesskontrollfähigkeiten und Wissen darüber, welche Möglichkeiten der manuellen Kontrolle existieren. Diese müssen frühzeitig in Trainingsprozeduren integriert vermittelt und kontinuierlich aufgefrischt werden.

2.2.2.1 Steuerung

Ausgehend von Theorien zu motorischen Schemata (vgl. BARTLETT, 1932; SCHMIDT, 1975) lassen sich zwei Kategorien von Strategien für die manuelle Prozesssteuerung unterscheiden (vgl. Wickens & Hollands, 2000). *Closed-loop* Strategien sind rückmeldungsorientiert und zeichnen sich dadurch aus, dass ihre Ausführung viel Zeit in Anspruch nimmt, dass sie aufmerksamkeitsbindend und auf visuelles Feedback aus der Umwelt angewiesen sind (vgl. Tabelle 2.2). *Open-loop* Strategien hingegen zeichnen sich dadurch aus, dass sie hoch geübt sind und ohne visuelles Feedback ausgeführt werden können. Übung ist hier das entscheidende Merkmal. Sie haben einen geringen Anspruch an Aufmerksamkeitsprozesse und können parallel zu einer anderen Tätigkeit ausgeführt werden, ohne diese stärker zu unterbrechen (vgl. WICKENS & HOLLANDS, 2000). Die manuellen Kontrolltätigkeiten von unerfahrenen Operateuren zeichnen sich häufig dadurch aus, dass der Prozess stetig um das Ziellevel herum schwankt, was zu Abweichungen führt, während erfahrene Operateure dazu in der Lage sind, den Prozess durch *Open-loop*-Kontrolle sehr genau zu steuern. BAINBRIDGE (1997) weist allerdings darauf hin, dass sich die physikalischen Fertigkeiten erfahrener Operateure verschlechtern, wenn sie nicht fortlaufend geübt werden. Kommt es zu einem Störfall, und der vermeintliche Experte soll die manuelle Prozesskontrolle übernehmen, kann es aufgrund mangelnden Trainings passieren, dass er es verlernt hat, den Prozess unter *Open loop*-Kontrolle zu steuern und dass er, gleich einem unerfahrenen Operateur, auf Feedback aus dem System angewiesen ist und den Prozess nur noch mit großen Schwankungen um das Ziellevel herum zu steuern in der Lage ist. Hier zeigt sich, dass kontinuierliche Trainingseinheiten zu grundlegenden Tätigkeiten notwendig sind, um Prozesskontrollfähigkeiten aufrecht zu erhalten.

MORAY, LOOTSTEEN und PAJAK (1986) konnten in Trainingsexperimenten mit simulierten Prozesskontrollaufgaben zeigen, dass sich mit zunehmendem Training die Strategien der

Prozesskontrolle von *Closed-loop*- hin zu *Open-loop*-Strategien entwickelten. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, das Training von manuellen Prozesskontrolltätigkeiten sowohl in Ausbildungskonzepte zu integrieren, als auch kontinuierlich aufzufrischen.

Tabelle 2.2: Unterscheidung zwischen Open-loop- und Closed-loop- Kontrolle

	Open-loop	Closed-loop
Anforderung an visuelles Feedback	↑	↓
Übungsgrad	↓	↑
Zeitlicher Anspruch	↑	↓
Parallele Aufgabenausführung	↓	↑

Nach WICKENS und HOLLANDS (2000) erfordert die erfolgreiche Prozesskontrolle drei wichtige Komponenten:

(1) Zieldefinition: Eine klare Spezifizierung und ein eindeutiges Verständnis von zukünftigen Produktionszielen

(2) Mentale Repräsentation: Eine genaue mentale Repräsentation des aktuellen Prozesszustands (um zukünftige Zustände vorhersagen zu können) sowie

(3) Mentales Modell: Ein genaues mentales Modell über die Prozessdynamiken. An dieser Auflistung wird bereits deutlich, dass der Operateur trotz hohen Automatisierungsgrades ein aktiver Bestandteil des Mensch-Maschine-Systems ist. Er ist darauf angewiesen, den Prozess zu verstehen, aktuelle und zukünftige Ziele zu formulieren und sicheres Wissen über den Prozess und die Dynamiken zu erwerben, um wichtige Aufgaben wie die Planung von Aktivitäten und die Antizipation von Systemzuständen ausführen zu können. Trainingskonzepte zur Ausbildung von Operateuren müssen dies berücksichtigen und die notwendigen Wissensvoraussetzungen integrieren, die es dem Operateur ermöglichen, Wissen über die Funktionsweise des Prozesses und seiner Dynamiken aufzubauen. Die dritte Komponente ist besonders wichtig für den Einsatz von *Open-loop* Kontrollstrategien. Die Genauigkeit des mentalen Modells über die Prozessdynamiken ist besonders wichtig, weil es die gerichtete Aufmerksamkeit leitet. Hat der Operateur kein mentales Modell über die Dynamik, muss er auf das Prozessverhalten reagieren, abwarten was passiert, um wieder antworten zu können, d.h. er muss mit langsamer und ineffizienter *Closed-loop* Strategie arbeiten. ROTH und WOODS (1988) zeigten, dass mit zunehmender Expertise die Aufgaben der Antizipation und der mentalen Repräsentation aktueller Prozesszustände erfolgreicher erledigt werden können. Die Grundlagen für eine erfolgreiche Prozesssteuerung können bereits in frühen Phasen

der Ausbildung von Operateuren gelegt werden. Bei der Gestaltung von Trainingsprogrammen sollten die drei Komponenten a) Zieldefinition, b) mentale Repräsentation aktueller Zustände und c) mentales Modell über Prozessdynamiken explizit berücksichtigt werden.

2.2.2.2 Überwachung

SHERIDAN (1997) sowie SHERIDAN und PARASURAMAN (2006, S. 92) unterscheiden fünf Funktionen bei der Überwachung und Steuerung von komplexen Systemen. Das *Planen* geschieht *out of the loop*, d.h. nicht in der direkten Interaktion mit dem Prozess und der Automation. Dafür benötigt der Operateur ein mentales Modell des zu kontrollierenden physikalischen Systems. Die Funktion des *Lehrens* bedeutet, geeignete Kontrollhandlungen auszuwählen und Befehle an die Automation zu geben, diese Handlungen auszuführen. Das *Überwachen* einer Automation beinhaltet, die Aufmerksamkeit auf Displays und andere Informationsquellen zu fokussieren und einen permanenten Abgleich der Systemzustände zu vollziehen. Dies macht das Vorhandensein von Situationsbewusstsein (vgl. ENDSLEY, 1995) notwendig. Dies bedeutet, zu einem bestimmten Zeitpunkt die Elemente der Umwelt in ihrem Zustand, mit ihren Attributen und ihrer eigenen Dynamik wahrzunehmen, diese Informationen aggregieren zu können und somit ihr Zusammenspiel und ihre Bedeutung zu verstehen sowie letztlich ihren Zustand in der näheren Zukunft vorhersagen zu können.

Eine weitere Funktion besteht im *Eingreifen*, um den automatisierten Prozess abzubrechen oder manuell zu kontrollieren. Dies betrifft Situationen, in denen Störungen auftreten, entdeckt und diagnostiziert werden, und in denen die Automation entweder neu programmiert werden oder der Operateur durch manuelle Regelung eingreifen muss. Schließlich gibt es die Funktion des *Lernens* aus der Erfahrung (auch *out of the loop*). Diese Funktion beschreibt, dass ein direkter Bezug zwischen dem Lernen aus der Erfahrung mit der Systeminteraktion und Planungstätigkeiten für zukünftige Überwachungstätigkeiten besteht.

Der Operateur hat bei der Überwachung eines automatisierten Systems die Aufgabe, in jeder Situation zu entscheiden, welche der Funktionsausübungen angemessen ist. Für die Überwachung von großtechnischen Anlagen muss der Operateur vier grundlegende Aufgaben ausführen, die sich zu den fünf Funktionen der Überwachungstätigkeit in Beziehung setzen lassen (SHERIDAN & PARASURAMAN, 2006, S. 93): (1) Informationssuche: er muss jeweils die aktuelle Systeminformation abfragen, (2) Informationsanalyse: diese Information analysieren, (3) Entscheidungsfindung: auf dieser Grundlage Entscheidungen über Handlungen treffen und (4) Handlungsausführung: die Handlungen letzten Endes ausführen. Diese

Vierteilung von Aufgabenklassen findet sich ebenfalls bei HOLLNAGEL (1998) (siehe Kapitel 2.1) der sie aber nicht zu den fünf Funktionen von Überwachungstätigkeiten in Beziehung setzt, sondern zu den 15 kognitiven Aktivitäten eines Operators. Dennoch bieten beide Herangehensweisen eine solide Grundlage für die Spezifizierung der Anforderungen, die für einen Operateur bei der Erfüllung vorgegebener Aufgaben anfallen und somit einen Nutzen für die Ableitung von Trainingsinhalten. In einer Studie von MUMAW, ROTH, VICENTE & BURNS (2000) wurde im Rahmen von zwei Felduntersuchungen der Frage nachgegangen, wie Operateure in Kernkraftwerken den Anlagenzustand während normaler Prozessbedingungen überwachen. Die Autoren fanden heraus, dass Operateure die Überwachungsaufgaben in einer aktiven Problemlösestrategie ausübten und dass sie Strategien für wissensbasiertes Überwachen anwendeten, um wichtige Informationen salienter und unwichtige Prozessänderungen unbedeutender zu machen. Die Ergebnisse weisen auf die Bedeutung des aktiven Rückgriffs auf wissensbasierte Informationen hin, die Operateure in sicherheitskritischen Systemen anwenden, um die Informationsvielfalt zu strukturieren. Diese Selektion von relevanter Information wird vor allem bei Fehlerdiagnose- und Fehlermanagementtätigkeiten relevant. Mit Aufgaben dieser Art beschäftigt sich das folgende Kapitel.

2.2.3 Fehlerdiagnose- und Fehlermanagement

Kann die Kontrolle und Regulation eines Prozesses im Normalfall noch durch Standardprozeduren gut geregelt werden, wird im Falle der eher seltenen Störungen eine komplexere Aufgabenbearbeitung notwendig. In deren Verlauf müssen zeitliche Phänomene beachtet, geeignete Informationen abgerufen, Diagnosen gestellt sowie darauf folgende korrigierende Handlungen ausgewählt werden. Diagnosen erfordern ein tiefgehendes Verständnis vom zugrunde liegenden Prozess und seinen Dynamiken (vgl. BAINBRIDGE, 1983; MORAY, 1999; RASMUSSEN, 1983; WICKENS & HOLLANDS, 2000). Nach der Klassifizierung von Hollnagel (1998) lassen sich die folgenden Aktivitäten in die Bereiche Fehlerdiagnose und Fehlermanagement einordnen: (3) Vergleichen von Messungen im Hinblick auf Abweichungen, (4) Erstellen von Diagnosen, (5) Evaluation von Zuständen, (6) Ausführen von Handlungen, (7) Identifizieren von Systemzuständen, (11) Zielgerichtetes Planen von Handlungen, (15) Verifizierung von Messungen.

In der Regelungstechnik werden bei Abweichungen von normalen Prozessabläufen die Begriffe Abweichung, Fehler oder Störung als Zustände und Ereignisse von Ausfällen unterschieden (vgl. DIN 40041, 1990). Sie stellen jeweils unterschiedliche Anforderungen an den

Operator, was die Diagnoseleistung und das Management betrifft. JOHANNSEN (1993) unterscheidet bei der Behandlung von Fehlern drei grundsätzliche Phasen:

(1) Fehlerentdeckung: Abweichungen von normalen Betriebsbedingungen werden festgestellt. Der Operator erhält entweder Warnmeldungen aus dem System oder leitet auf der Grundlage seiner Überwachungstätigkeiten aktuelle oder zukünftige Abweichungen vom normalen Prozessverhalten ab. JOHANNSEN unterscheidet in Anlehnung an RASMUSSENS Wissenstaxonomie (1983; vgl. auch Kapitel 3.2.3) fertigkeitsbasierte, regelbasierte und wissensbasierte Fehlerentdeckung. Zur fertigkeitsbasierten Fehlerentdeckung gehören Alarmüberwachungen und einfache Beobachtungsaufgaben, bei denen nur wenige Variablen im Hinblick auf ihre Abweichungen von vorgegebenen Werten überwacht werden müssen. Die regelbasierte Fehlerentdeckung umfasst das Erkennen von Fehlern wie Mittelwertsänderungen oder sprungförmiger Überlagerungen und erfordert vom Operator, Muster zu erkennen, Auftretenswahrscheinlichkeiten von Ereignissen abzuschätzen und den Prozessverlauf sequentiell zu beobachten. Der Operator muss regelbasiertes Wissen über die funktionalen Eigenschaften des Systems anwenden, um beispielsweise dynamische Muster zu entdecken. Diese Regeln „bestimmen die Entscheidung darüber, welche der alternativen sequentiellen Beobachtungen als nächste ausgewählt werden muss, sowie die endgültige Entscheidung, ob ein Fehler vorliegt oder nicht.“ (JOHANNSEN, 1993, S.344). Die wissensbasierte Fehlerentdeckung muss der Operator aktiv einsetzen, um nach Fehlern im System zu suchen, die offenkundig nicht identifizierbar sind, da kein Fehlverhalten des Systems beobachtbar ist. Dies können beispielsweise Fehler in elektronischen Schaltkreisen oder Fehler in Software-Programmen sein. Fehlerentdeckungen dieser Art sind beispielsweise im Rahmen von Wartungsarbeiten auszuführen.

(2) Störungsdiagnosen: Ursachen werden herausgefunden. Hier findet ein Abgleich mit der internen mentalen Repräsentation über den Prozess und seine Dynamiken statt. Bei Fehlerdiagnosen besteht eine wesentliche Anforderung an den Operator in der Umkehr seines kausalen Denkens gegenüber dem Denken, wie es bei der Überwachung und Steuerung unter normalen Prozessbedingungen stattfindet. Der Operator muss erschließen, durch welche Ursache ein bestimmtes Ereignis produziert wurde. RASMUSSEN (1983) vergleicht Fehlerdiagnosen mit Problemlösetätigkeiten, bei denen Operateure auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen schlussfolgern müssen. Einige Bestandteile einer Fehlerdiagnose umfassen Diagnosen auf den Ebenen physikalischer Formen und Funktionen wie z.B. Ventilen oder Flüssigkeitslevels, andere hingegen erfordern das Schlussfolgern auf einer weitaus abstrakteren

Ebene wie z. B. bestimmter Stufen eines Destillationsprozesses. Dementsprechend müssen Operateure bereits bei der Informationssuche, aber auch bei der Entscheidung über und Ausführung von Handlungen wissen, wann regelbasiertes und fertigkeitbasiertes Verhalten nicht mehr ausreicht und stattdessen wissensbasiertes Verhalten eingesetzt werden muss (vgl. dazu auch Kapitel 3.2.3). Fehlerdiagnosen lassen sich nach JOHANNSEN demnach auf der Grundlage von RASMUSSEN's (1983) Wissenstaxonomie als fertigkeitbasierte, regelbasierte sowie wissensbasierte Fehlerdiagnosen beschreiben. Die fertigkeitbasierte Fehlerdiagnose umfasst Entscheidungen binärer Art, wie z.B. zwei Prozesskomponenten oder Fehlertypen. Die Entscheidung für eine der Alternativen ist relativ einfach und kann ohne Hilfe von Assistenzsystemen vom Operateur selbst durchgeführt werden. Regelbasierte Fehlerdiagnosen basieren auf Heuristiken, die im Anschluss an die durch Mustersuche vollzogene Fehlerentdeckung eingesetzt werden. Die wissensbasierte Fehlerdiagnose ist dann sinnvoll, wenn unbekannte Systemmuster oder unbekannte Zustandsinformationen entdeckt wurden. In der vorliegenden Arbeit liegt der Schwerpunkt auf der Entwicklung und Erprobung von Trainingsstrategien, die den Erwerb mentaler Kausalmodelle und somit die Störungsdiagnosefertigkeiten von Operateuren erhöhen sollen.

(3) Störungsmanagement: Der Operateur wählt geeignete Handlungen aus, um die Störung zu beheben. Auch die Korrektur von Fehlern lässt sich in enger Anlehnung an die Wissenstaxonomie einteilen (vgl. JOHANNSEN, 1993). Bei der fertigkeitbasierten Fehlerkorrektur sind häufig einfache Tastatureingaben notwendig, und der Operateur setzt stereotype sensorische Muster ein. Allerdings ist es notwendig, die Ausführung dieser stereotypen Handlungen kontinuierlich zu trainieren, damit sie nicht verlernt werden (vgl. Kapitel 2.2.1). Die regelbasierte Fehlerkorrektur sieht beispielsweise im Rahmen von Online-Wartungsarbeiten vor, dass Korrekturtätigkeiten anhand vorgegebener, teilweise sehr komplexer Regeln durchgeführt werden. Einen Sonderfall stellt die wissensbasierte Fehlerkorrektur dar. Wurde ein unbekannter Fehler diagnostiziert, kann es sein, dass keine Heuristiken vorhanden sind, die vorschreiben, wie der Fehler zu beheben ist. In diesem Fall muss der Operateur auf der Grundlage seines bestehenden Wissens und seiner Erfahrung mit vergleichbaren Situationen neue Fehlermanagementschritte ableiten und ausprobieren. Beim Fehlermanagement befinden sich Operateure häufig in einem Spannungsfeld von konkurrierenden Zielvorgaben. Einerseits müssen sie sicherstellen, dass die Anlagensicherheit gewährleistet ist. Dies kann beispielsweise im Falle einer Störungsmeldung in einem Kernkraftwerk zur Folge haben, eine Turbine abzuschalten. Andererseits gibt es ökonomische

Vorgaben. Im Falle des Abschaltens einer Turbine könnte beispielsweise die Effizienz des Gesamtsystems herabgesenkt werden, was im Gegensatz zu den sicherheitsrelevanten Zielen steht. Auch Fehlerdiagnose- und Fehlermanagementtätigkeiten befinden sich insofern in diesem Spannungsfeld, als dass sie mit Stabilisierungstätigkeiten konkurrieren. So weisen WICKENS und HOLLANDS (2000) darauf hin, dass in der Atomwirtschaft allgemeine Prozeduren vorschreiben, dass die oberste Priorität darin liegt, kritische Systemvariablen wieder in einen normalen Zustand zurückzuführen, und dass sich die Diagnose einer Störung dem erst anschließen darf. Allerdings merken die Autoren diesbezüglich an, dass oftmals Diagnosen notwendig sind, um überhaupt feststellen zu können, welche Systemvariablen außerhalb des normalen Betriebszustands operieren, um dem entgegen wirken zu können. Ein weiteres Problem mit den regelbasierten Vorgaben, wie Operateure auf gegebene Störfälle reagieren sollen (Wenn x , dann y) besteht darin, dass Operateure im Rahmen ihrer Informationsanalyse häufig den wenn x Teil nur vermuten und daher nur unter einem mehr oder weniger großen Maß an Unsicherheit agieren können.

In den Kapiteln 2.1 und 2.2 wurden die Aufgaben von Operateuren in komplexen Systemen und die wesentlichen Charakteristiken dieser Aufgaben vorgestellt. JOHANNSEN (1993, S.90) verweist darauf: „[...], dass die vom Menschen auszuführenden Aufgaben [...], vom technischen Prozess bestimmt werden – somit kontextabhängig sind – und entsprechend beim Menschen dem Prozess zugeordnetes Funktions- und Aufgabenwissen erfordern.“ Ein adäquates Wissen über den Prozess ist notwendig, um erfolgreiche Strategien für den Umgang mit unerwarteten, unüblichen oder ganz und gar neuen Situationen ausbilden zu können. Dieses Wissen entwickelt sich einerseits durch die Anwendung des Wissens und andererseits durch Feedback über die Effektivität von Eingriffen in den Prozess (vgl. BAINBRIDGE, 1983). In verschiedenen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die Rolle des Operateurs mit ihren jeweils charakteristischen Aufgaben und Tätigkeiten in entscheidendem Maße bestimmt, wie der Wissenserwerb und die Wissensstrukturierung stattfinden (vgl. DE KEYSER, 1987, S. 252). So konnte DE KEYSER (1987) bei einer Gegenüberstellung von Tätigkeitsprofilen in drei unterschiedlichen Industriebetrieben zeigen, dass die internen Repräsentationen über die Beschaffenheit ihrer Aufgaben bei Operateuren, die vorwiegend Überwachungstätigkeiten ausführten, geringer waren als bei Operateuren, die noch einen größeren Entscheidungsspielraum im Rahmen ihrer Überwachungstätigkeiten hatten. Bei letzteren war das Wissen über den Prozess und dessen Bedienung weitaus beständiger. Dies findet ebenfalls Bestätigung in der Annahme, dass Menschen keine deterministischen Input-

Output-Maschinen sind, sondern zielorientierte und aktiv nach Zielen und für die Zielerreichung relevanten Informationen suchende Individuen (vgl. RASMUSSEN, 1983, S.257). Das bedeutet folglich, dass Operateure ihr Wissen über das System und die zugrunde liegenden Prozesse aktiv einsetzen, um ihre Aufgaben erfolgreich zu bewältigen. In dem Ausmaß allerdings, in dem sich die Aufgaben von Operateuren unterscheiden, unterscheidet sich auch das hierfür notwendige Wissen, das die Operateure erwerben (vgl. DE KEYSER, 1987). Das Wissen über die Beschaffenheit der speziellen Wissensbereiche ist eine notwendige Voraussetzung für das Verständnis der erfolgreichen oder fehlerhaften Performanz von Operateuren und in weiterer Konsequenz für die Gestaltung von Interventionen, wie beispielsweise computerbasierten Trainingsmaßnahmen. Welcher Gestalt also dieses Wissen ist und wie es repräsentiert und erworben wird, ist ein weiterer Aspekt und Bestandteil der folgenden Kapitel.

3 ZUR ROLLE DES WISSENS IN KOMPLEXEN SYSTEMEN: MENTALE KAUSALMODELLE

„Kognitionspsychologische Forschung im Problembereich Prozess- und Systemsteuerung hat u. a. das Wissen zum Gegenstand, welches Menschen erwerben und nutzen, die umfangreiche Systeme und Prozesse steuern.“ (KLUWE, 1991, S.311). In diesem Kapitel soll auf der Grundlage kognitions- und ingenieurpsychologischer Theorien näher betrachtet werden, welche Wissensformen für die Überwachung und Steuerung sowie für Diagnosetätigkeiten erforderlich sind, und wie dieses Wissen erworben und repräsentiert wird. In Kapitel 3.1 werden relevante Unterscheidungsdimensionen von Wissensarten und spezifische Merkmale der Wissensrepräsentation beleuchtet, wie sie in der Mensch-Technik-Interaktion Verbreitung gefunden haben. Kapitel 3.2 fokussiert mentale Modelle als ein zentrales Konstrukt der Wissensrepräsentation im Kontext der Steuerung komplexer Systeme. Kapitel 3.3 und 3.4 spezifizieren mentale Kausalmodelle und ihren Erwerb vor dem Hintergrund der charakteristischen Tätigkeiten des Operators eines komplexen Systems als Grundlage für die Ableitung von Trainingsstrategien.

3.1 Wissen in komplexen Systemen

Die Überwachung und Steuerung komplexer Systeme erfordert zum einen Kenntnisse über die Systembestandteile, um beispielsweise zu wissen, welche Komponenten in regelmäßigen Abständen überwacht und gegebenenfalls auch vor Ort in der Anlage kontrolliert werden müssen und an welchen Komponenten bei routinemäßigen und ungewöhnlichen Situationen Eingriffe in den Prozess- oder Produktionsablauf notwendig und möglich sind. Zum anderen ist Wissen darüber erforderlich, welche Komponenten miteinander verbunden sind und wie die Wirkbeziehungen beschaffen sind. Dies ist sowohl notwendig, damit der Operator ein Verständnis vom regulären Systemverhalten hat, als auch um bei Abweichungen vom routinemäßigen Systemverhalten durch gezielte Eingriffe in das System Möglichkeiten zur Störungskorrektur zu haben. Die Wissenspsychologie beschäftigt sich mit Fragen des Erwerbs, der Repräsentation und der Anwendung von Wissen (vgl. MANDL & SPADA, 1988; SÜß, 1996). Ansätze zur Untersuchung des Wissens von Operateuren in der Mensch-Maschine-Interaktionsforschung beziehen sich auf die grundlegenden Theorien der wissenspsychologischen Forschung. In den folgenden Kapiteln wird ein Überblick über grundlegende Unterscheidungsmöglichkeiten gegeben.

3.1.1 Deklaratives und prozedurales Wissen

Häufig werden zwei Formen von Wissen und ihre spezifischen Merkmale der Repräsentation unterschieden: deklaratives Wissen (wissen, dass) einerseits und prozedurales Wissen (wissen, wie) andererseits (vgl. RYLE, 1949; KLUWE & HAIDER, 1990; DUTKE, 1998; SÜB 1996). Deklaratives Wissen ist in der Regel verbalisierbar, bewusstseinsfähig und so repräsentiert, dass ein direkter Zugriff möglich ist. Prozedurales Wissen hingegen ist eigentlich nicht bewusstseinsfähig und kann nur unter gewissen Umständen verbalisiert werden. Prozedurales Wissen ist ausführbar, zielgerichtet und steuert das menschliche Verhalten (vgl. SCHNOTZ, 1994). Häufig wird von den Konzepten deklarativen und prozeduralen Wissens die Einteilung in Sach- und Handlungswissen unterschieden (z.B. SÜB, 1996). Diese Unterscheidung soll im Rahmen dieser Arbeit allerdings vernachlässigt werden. Dieses Kapitel konzentriert sich auf eine Begriffsdefinition von KLUWE und HAIDER (1990), in der die Konzepte im Zusammenhang mit mentalen Modellen beleuchtet werden und die im deutschsprachigen Raum häufig aufgegriffen wurde (vgl. SÜB, 1996).

Nach KLUWE und HAIDER (1990) lässt sich deklaratives Wissen in Bereichs- und Aktionswissen unterteilen (vgl. Tabelle 3.1). Das Bereichswissen umfasst alle Kenntnisse über die Beschaffenheit und die Wirkweise des Systems. Zum Bereichswissen gehört das *Systemwissen*, das alle mitteilbaren Kenntnisse über die Beschaffenheit und das Verhalten eines Systems umfasst (dies beinhaltet sowohl Wissen über die Systemkomponenten, als auch über deren strukturelle Organisation und spezifische Funktionsmerkmale). Das Funktionswissen als weitere Komponente des Bereichswissens umfasst das Wissen über die systeminternen Ursache-Wirkungszusammenhänge. Es ist beispielsweise in Situationen notwendig, in denen Störungsmeldungen im Prozess auftauchen und der Operateur gefordert ist, eine Diagnose über die Ursache der Störung zu treffen. Das Aktionswissen lässt sich auch als Kontroll- und Steuerungswissen bezeichnen (vgl. KLUWE & HAIDER, 1990) und beinhaltet das Wissen über die möglichen Eingriffe in das System und die Veränderungen, die durch Eingriffe angestoßen werden. Dieses Wissen lässt sich in Form von Input-Output-Regeln (oder auch Wenn-Dann-Regeln) ausdrücken. Es stellt einen wichtigen Bestandteil für die Orientierung des Operateurs an der Schnittstelle dar, da es in entscheidendem Maße davon geprägt ist, welche Rückmeldungen aus dem System an der Schnittstelle dargeboten werden. Das Wissen eines Operateurs über die Handlungsschritte eines Batch-Prozesses und darüber, an welchen Stellen der Prozess zwischen voll- und teilautomatisiert wechselt und welche Ein-

griffe auf seiner Seite dann notwendig werden, lässt sich dementsprechend als Kontroll- und Steuerungswissen beschreiben.

Tabelle 3.1: Übersicht über deklarative und prozedurale Wissensformen

Deklaratives Wissen			Prozedurales Wissen		
Bereichswissen		Aktionswissen	Daten	Prozesse	
Systemwissen	Funktionswissen	Kontroll- und Steuerungswissen		Generierende Prozesse	Transformierende Prozesse

Unter prozeduralem Wissen werden hingegen geistige Operationen verstanden, „die eine Generierung von System-, als auch von Kontroll- und Steuerungswissen leisten, und die weiter das bereits verfügbare Wissen transformieren“ (KLUWE & HAIDER, 1990, S.176). Unter prozeduralem Wissen werden in diesem Sinne also generierende und transformierende Prozesse des Wissenserwerbs verstanden. Während RYLE (1949) in einer sehr strengen Definition prozedurales Wissen so abgrenzt, dass es sich nur in der Ausführung einer Handlung zeigt und im Vergleich zu deklarativem Wissen nicht verbalisierbar ist, gehen weniger radikale Ansätze davon aus, dass prozedurales Wissen in dem Maße mitteilbar ist, in dem der Informationsgehalt einer Prozedur auch als deklaratives Wissen repräsentiert ist (OSWALD & GADENNE, 1984). SÜß (1996, S.63) verweist in diesem Zusammenhang auf den Gebrauch der beiden Konzepte in der Alltagssprache und vergleicht deklaratives Wissen mit *Wissen* und prozedurales Wissen mit *Können*. KLUWE und HAIDER (1990) sowie KLUGE (2004) unterscheiden ferner die Reichweite des Wissens als ein wesentliches Merkmal des individuellen Wissens über ein System. Sie setzt sich zusammen aus dem Systemwissen und dem Kontrollwissen (vgl. Tabelle 3.1) und bestimmt, in welchem Ausmaß ein Operateur auf der Grundlage seines Wissens Anforderungen erfüllen und Probleme bewältigen kann.

Eine weitere Unterscheidung von Wissensarten, die sich in weiten Teilen mit der zwischen deklarativem und prozeduralem Wissen deckt, findet sich in der Trennung von implizitem und explizitem Wissen (vgl. BERRY & BROADBENT, 1984). So fanden BERRY und BROADBENT in Untersuchungen heraus, dass Probanden zwar in der Lage waren, im Anschluss an ein Training ein komplexes System korrekt zu steuern. Befragt nach ihrem Wissen über die Systemzusammenhänge waren die Probanden jedoch nicht dazu in der Lage, ihr Wissen zu äußern. Implizites Wissen ist der Definition nach all jenes Wissen, das nicht verbalisierbar und nicht bewusstseinsfähig ist. BERRY und BROADBENT gehen davon aus, dass es auch unbewusst erworben wird, und dass der Lernprozess nicht gerichtet und nicht aktiv ist. Explizites Wissen hingegen ist verbalisierbar, bewusstseinsfähig und wird zielge-

richtet erworben. BERRY (1987) hat in der Folge diese Unterscheidung differenziert. Sie geht davon aus, dass implizites Wissen weiter unterteilt werden muss in echtes implizites Wissen, das tatsächlich unbewusst gelernt wird und implizites Wissen, das zuerst explizit und zielgerichtet gelernt wird, in der Folge, d.h. in der Interaktion mit dem System, aber prozeduralisiert wird und nicht mehr direkt bewusstseinsfähig und verbalisierbar ist. Von diesen Unterstufen impliziten Wissens unterscheidet sie das tacit knowledge, das auf explizite Nachfragen hin verbalisierbar und symbolisch darstellbar ist.

3.1.2 Wissenserwerb in komplexen Systemen

Welche Form von Wissen muss ein Operateur erwerben, um ein (komplexes) technisches System erfolgreich steuern zu können? Antworten auf diese Frage lassen sich vor dem Hintergrund der Problemlöseforschung finden, die den Problemlöseprozess als Prozess des Wissenserwerbs und der Wissensanwendung beschreibt. In Studien zum Wissenserwerb in komplexen dynamischen Systemen beschäftigt sich eine zentrale Frage damit, ob es für die erfolgreiche Steuerung des Systems eine notwendige Voraussetzung ist, im Vorfeld Wissen über die Struktur des Systems aufzubauen. Eine andere Sichtweise stellt die Frage dar, ob stark vereinfachtes und unvollständiges Wissen, das auf wenigen Input-Output-Regeln basiert, ausreicht um ein System erfolgreich zu bedienen (siehe Kap.3.1.1). In Studien zu der erst genannten Sichtweise konnte nachgewiesen werden, dass der Aufbau von Wissen über die Struktur des Systems eine notwendige Voraussetzung für erfolgreiche Systeminteraktion darstellt (FUNKE, 1992; BERRY & BROADBENT, 1988). In seinen Arbeiten zum Wissenserwerb in komplexen Systemen beschreibt FUNKE (1992) den Prozess des Wissenserwerbs als Prozess des Aufbaus und der Anwendung eines subjektiven Kausalmodells über das System und die diesem immanente Struktur. Der Aufbau des Kausalmodells kann als hypothesengenerierender und hypothesenüberprüfender Prozess auf Seiten der lernenden Person beschrieben werden. Der Lernende stellt Annahmen über die Beschaffenheit der Systemzusammenhänge auf und erprobt sie. So formt sich ein Ursache-Wirkungs-Modell über das System. FUNKE konnte in seinen Untersuchungen durch pfadanalytische Auswertungen zeigen, dass das Wissen über die Kausalstruktur des Systems eine wichtige Determinante der Leistung bei Aufgaben der Systeminteraktion darstellt. Vertreter der gegenteiligen Sichtweise (z.B. KLUWE & HAIDER, 1990; KLUWE et al. 1991) gehen davon aus, dass Personen ein System erfolgreich steuern können, auch ohne es unbedingt verstehen zu müssen. Sie verweisen auf die Notwendigkeit der Analyse von Minimalanforderungen an zu vermittelndes Wissen, die

erfüllt sein müssen, um ein System zu steuern. Auch BAINBRIDGE (1981) unterstützt die Auffassung, dass Operateure ein komplexes System auf der Grundlage eines unvollständigen Modells steuern können. Sie sieht den Wissenserwerb als einen Prozess an, in dessen Verlauf Strategien ausgebildet werden, die in das Langzeitgedächtnis überführt werden. Der Arbeitsspeicher wird in Entscheidungssituationen aktiviert. Die Entscheidungen für bestimmte Handlungen bzw. Eingriffe in das System werden vom Operateur im Kontext seines Wissens über den aktuellen Prozessstatus getroffen. Dabei beruft er sich allerdings nach BAINBRIDGE (1983) nicht auf Rohdaten über den Prozess, die er intern repräsentiert hat, sondern vielmehr auf die Gültigkeit vergangener Vorhersagen und Entscheidungen, die für den aktuellen Verlauf des Prozesses nützlich sein könnten. SÜß (1996) kritisiert die Ergebnisse von KLUWE et al. (1991) allerdings dahingehend, dass sie auf der Grundlage ihrer Ergebnisse nicht ausschließen können, dass es Systemsteuerungsanforderungen gibt, für die ein tiefergehendes Verständnis der Wirkzusammenhänge innerhalb des Systems notwendig ist. In der vorliegenden Arbeit wird davon ausgegangen, dass unterschiedlich detailliertes Wissen für die Erfüllung der verschiedenen Operateur-Aufgaben notwendig ist.

3.2 Mentale Kausalmodelle technischer Systeme

NEISSER (1967) definierte die kognitive Psychologie als die Erforschung dessen, wie Menschen lernen, strukturieren, behalten und ihr Wissen nutzen. Mentale Modelle stehen in engem Bezug zu anderen Repräsentationen von Wissensstrukturen wie beispielsweise Schemata (vgl. RUMELHART & ORTONY, 1977; REIMAN & CHI, 1989), die Informationen über Konzepte oder Konstrukte in abstrakter und generalisierter Form repräsentieren sowie Skripten, die die Repräsentation von Ereignis- bzw. Handlungssequenzen in spezifischen Kontexten beschreiben und deren Zweck es ist, stilisierte alltägliche Situationen zu organisieren und zu leiten (vgl. SHANK & ABELSON, 1977).

Im Zusammenhang mit der Frage des Wissenserwerbs in komplexen Systemen wird ebenfalls diskutiert, in welcher Form das erworbene Wissen repräsentiert wird. In der Mensch-Maschine-Systemforschung wird bezogen auf diese Frage häufig das Konzept der mentalen Modelle diskutiert. DUTKE definiert mentale Modelle als „Ausdruck des Verstehens eines Ausschnittes der realen Welt“ (DUTKE, 1994, S.2). Mentale Modelle sind demnach interne Abbilder der Umwelt, die den Menschen dazu befähigen Handlungen zu planen und auszuführen.

3.2.1 Das Konzept mentaler Kausalmodelle

Der Begriff des mentalen Modells oder auch des mentalen Kausalmodells hat sowohl in den Ingenieurwissenschaften als auch in der psychologischen Forschung eine lange Tradition. In den Ingenieurwissenschaften wurde er in der Regelungstechnik zusammen mit dem Konzept der Optimal Control Theory und Studien zu mentaler Beanspruchung eingeführt (vgl. KLEINMANN et al, 1970; SHERIDAN & STASSEN, 1979). Erstmals wurde der Begriff von CRAIK (1943) eingeführt und hat seitdem eine breite Anwendung gefunden. Die Definition von CRAIK liefert erste differenzierte Hinweise auf die Eigenschaften eines mentalen Modells als einer Form von Wissensrepräsentation:

„If the organism carries a small scale model of external reality and of its own possible actions within its head, it is able to try out various alternatives, conclude which is the best of them, react to future situations before they arise, utilize the knowledge of past events in dealing with the present and the future, and in every way to react in a much fuller, safer, and more competent manner to emergencies which face it“ (CRAIK, 1943, S.61).

Schon in dieser frühen Definition findet sich die Beschreibung der charakteristischen Merkmale mentaler Modelle, wie sie in der Folge häufig aufgegriffen und verwendet wurde. Mentale Modelle befähigen den Menschen demnach zur Handlungsauswahl, zur Antizipation von zukünftigen Ereignissen sowie zu Diagnosen bereits geschehener Ereignisse. Die wohl bedeutendste Aussage an der Definition ist, dass wir Menschen kontinuierlich kleine, maßstabgetreue Modelle von Situationen und unseren Handlungsmöglichkeiten ausbilden. All dies dient in letzter Konsequenz dem Zweck, umfassender, sicherer und kompetenter in der Interaktion mit der Umwelt handeln zu können. Wie aber sehen diese Modelle aus, und in welcher Form ist das Wissen in ihnen repräsentiert? Mit der Beantwortung dieser Fragen beschäftigen sich in langer Tradition die verschiedenen Ansätze zu mentalen Modellen. Das Konstrukt der mentalen Modelle wird im Zusammenhang mit vielen Paradigmen untersucht. Eine einheitliche Definition des Konstruktes existiert allerdings nicht, da in den Theorien unterschiedliche Aspekte dieses Konstrukts, je nach Anwendungsdomäne und Aufgabenschwerpunkt, in den Vordergrund gestellt werden. Ein Vergleich der unterschiedlichen Ansätze und Theorien zu mentalen Modellen technischer Systeme findet sich beispielsweise bei MORAY (1999) sowie bei ROUSE und MORRIS (1986). Allgemein wird der Begriff des mentalen Modells im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion immer dann verwendet, wenn jene Wissensformen betrachtet werden, bei denen problemlösendes Denken oder mentale

Simulationen das System betreffend eine Rolle spielen (vgl. DUTKE, 1998). GENTNER (2002) unterscheidet zwei Ansätze bei der Erforschung mentaler Modelle. Auf der einen Seite gibt es Theorien, die sich mit der Beschreibung des Wissens und derjenigen Prozesse beschäftigen, die das Verständnis und das Schlussfolgern in wissensreichen Domänen unterstützen (vgl. MORAY, 1999). Auf der anderen Seite gibt es Theorien, deren Hauptaugenmerk auf der Betrachtung von mentalen Modellen als Konstrukt des Arbeitsgedächtnisses liegt, das das logische Schlussfolgern unterstützt (vgl. JOHNSON-LAIRD, 1983). Die in dieser Arbeit diskutierten Theorien lassen sich der zuerst vorgestellten Sichtweise zuordnen.

YOUNG (1983) verwendet den Begriff des mentalen Modells aus einer *nutzungs*zentrierten Sichtweise heraus als eine Wissensform, die unabhängig von der Verwendung zur Beschreibung eines Geräts genutzt wird (in mentalen Modellen sind demnach vorwiegend Beschreibungen von Input-Output-Beziehungen repräsentiert, die mit bestimmten Verwendungszwecken assoziiert sind). MORAY (1999) stellt allerdings den Nutzungskontext als entscheidendes Merkmal in den Vordergrund und schlägt vor, diesen als Ausgangspunkt für die Definition des mentalen Modells zu nehmen. ROUSE und MORRIS (1986) verstehen unter mentalen Modellen Wissensstrukturen (die Autoren sprechen allerdings anstelle von Wissensstrukturen von Mechanismen), die die Beschreibung von Zweck, Struktur, Funktionsweise und Zustand komplexer Systeme ermöglichen, wobei sich auch verschiedene zukünftige Systemzustände prognostizieren lassen. WICKENS (1984) weist darauf hin, dass mentale Modelle eher als hypothetische Konstrukte verstanden werden sollten, die nicht direkt beobachtbar sind, sondern vielmehr in einer theoretischen Annäherung an die Erforschung menschlicher Informationsverarbeitungsprozesse als Hilfswerkzeug der Sprache dienen sollten.

Eine weitere zentrale Frage in der Auseinandersetzung mit dem Konstrukt der mentalen Kausalmodelle ist die, welches Wissen in ihnen repräsentiert ist (vgl. MORAY, 1999): Wissen aus dem Kurzzeit- bzw. Arbeitsgedächtnis oder Wissen aus dem Langzeitgedächtnis. CRAIK (1943) ist einer der Vertreter der Annahme, dass in mentalen Modellen Wissen aus dem Langzeitgedächtnis repräsentiert ist. MORAY (1999) geht davon aus, dass in mentalen Modellen zwar Wissen aus dem Langzeitgedächtnis repräsentiert ist, dass aber die Inhalte der mentalen Modelle ins Arbeitsgedächtnis überführt und aus dem Arbeitsgedächtnis verfügbar gemacht werden können. Vertreter der Kurzzeit- bzw. Arbeitsgedächtnisthese gehen davon aus, dass das mentale Modell aus dem Wissen über ein System oder eine Aufgabe jeweils in einer spezifischen Situation konstruiert wird. Es besteht nur aus den Aspekten, die notwendig sind, um ein gegebenes Problem zu lösen (vgl. JOHNSON-LAIRD, 1983).

In der vorliegenden Arbeit werden in empirischen Untersuchungen Trainingsstrategien zur Unterstützung des Erwerbs mentaler Kausalmodelle überprüft. Es wird, ausgehend von der Betrachtungsweise MORAY'S (1999), angenommen, dass in mentalen Kausalmodellen Wissen aus dem Langzeitgedächtnis repräsentiert ist, dass allerdings im Zuge des Wissenserwerbs das Wissen im Arbeitsgedächtnis abrufbar und verbalisierbar ist. Somit kann der aktuelle Status des mentalen Kausalmodellerwerbs im Rahmen von Trainingsuntersuchungen als Arbeitsgedächtnis-Bestandsaufnahme abgerufen werden.

Kausale Modelle können als eine Spezialform Mentaler Modelle beschrieben werden (THÜRING, 1991). Nach THÜRING sind in kausalen Modellen die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge eines Phänomens repräsentiert. Demnach sind kausale Modelle phänomenspezifisch, da sie zur Erklärung oder Vorhersage eines bestimmten Ereignisses dienen. In dieser Arbeit wird die Sichtweise mentaler Modelle dahingehend ergänzt, dass in mentalen Kausalmodellen das Wissen über die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge im System repräsentiert ist, d.h. das Wissen über einzelne Systemkomponenten und ihre Interaktionen. Somit repräsentieren mentale Kausalmodelle einerseits phänomenspezifische Inhalte und andererseits auch bereichsspezifische Inhalte. Hat ein Operateur ein mentales Kausalmodell von einem technischen System aufgebaut, ermöglicht ihm dies die Systembedienung unter normalen Bedingungen und zusätzlich den Umgang mit spezifischen Situationen. Auf das mentale Kausalmodell kann zurückgegriffen werden, um unterschiedliches Systemverhalten zu erklären. Dies beinhaltet unter anderem die Vorhersage von Systemzuständen. Das mentale Kausalmodell bietet darüber hinaus die Grundlage für die Entwicklung und Anwendung von Kontrollstrategien. Das in Form von mentalen Kausalmodellen gespeicherte Wissen stellt eine Abstraktion und Reduktion der Realität dar.

Im Folgenden werden die für diese Arbeit relevanten Theorien zu mentalen Kausalmodellen vorgestellt und auf ihre Eignung als Grundlage für ein Trainingskonzept diskutiert. Jede dieser Theorien liefert einen Beitrag zu dem in Kapitel 3.3 abgeleiteten Rahmenmodell zum Erwerb mentaler Kausalmodelle sowie zu den in Kapitel 4.5 vorgestellten Trainingsbausteinen.

3.2.2 Mentale Modelle nach Norman

NORMAN (1983, 1987) hat mit seinen Überlegungen zum Konstrukt des mentalen Modells eine grundsätzliche Beschreibung der Eigenschaften sowie der Grenzen dieser Form von

Wissensrepräsentation angeboten, die seitdem im Kontext der Gestaltung von Mensch-Maschine-Interaktion eine breite Anwendung gefunden hat: „In interacting with the environment, with others, and with the artifacts of technology, people form internal, mental models of themselves and of the things with which they are interacting. These models provide predictive and explanatory power for understanding the interaction” (S.7).

Mentale Modelle haben einen erklärenden Charakter und sie ermöglichen es uns, in der Interaktion mit Systemen Vorhersagen zu treffen. Allerdings unterliegen mentale Modelle nach NORMAN einigen wesentlichen Beschränkungen: (1) Mentale Modelle sind unvollständig. (2) Die Fähigkeit, mentale Modelle zu simulieren, ist sehr begrenzt. (3) Mentale Modelle sind instabil: Menschen vergessen selten auftretende Details über das System, das sie benutzen. (4) Mentale Modelle haben keine klaren Grenzen. (5) Mentale Modelle sind unwissenschaftlich (hypothetische Konstrukte) und schließlich (6) Mentale Modelle sind sparsam (d.h. sie geben die Realität nur in vereinfachter und abstrahierter Form wieder). Aus diesen Beschränkungen wird deutlich, dass das mentale Modell eines Operateurs nicht notwendigerweise eine exakte und vollständige Repräsentation des zu überwachenden Systems sein muss. Dass Operateure komplexe Systeme auch auf der Grundlage von unvollständigen und sparsamen mentalen Modellen zu steuern in der Lage sind, konnte BAINBRIDGE (1981) mit empirischen Analysen der Arbeit von Operateuren in Prozessleitwarten zeigen, die anhand von sehr einfachen Wissensstrukturen und ohne Kenntnisse über die zugrunde liegenden Ursache-Wirkungs-Prozesse das System steuerten. Auch KLUWE et al. (1991) fanden heraus, dass es Operateuren auf der Grundlage relativ abstrakter Input-Output-Regeln möglich war, ein komplexes System zu bedienen. Zur eindeutigeren Modellierbarkeit mentaler Modelle hat NORMAN (1983) eine Begriffsklassifikation vorgeschlagen, die seitdem oftmals aufgegriffen und als Grundlage für die Einordnung des Betrachtungsgegenstandes herangezogen wurde (z.B. GENTNER, 2002; MORAY, 1999; HOLLNAGEL, 1998; KLUWE & HAIDER, 1990; RASMUSSEN, 1986). NORMAN unterscheidet zwischen vier Ebenen bei der Betrachtung des Konstruktes mentaler Modelle, die je nach Anwendung und Ausführendem zu unterscheiden sind:

(1) *Das (physikalische) Zielsystem t* : das System, das der Nutzer lernen beziehungsweise verwenden soll.

(2) *Das konzeptuelle Modell dieses Zielsystems $C(t)$* : das konzeptuelle Modell soll eine angemessene Repräsentation dieses Zielsystems bereitstellen. Es soll das Zielsystem konsi-

stent, genau und vollständig beschreiben. NORMAN versteht konzeptuelle Modelle als Trainingswerkzeuge für physikalische Systeme.

(3) *Das mentale Modell des Nutzers $M(t)$* : Jeder Nutzer entwickelt in der Interaktion mit dem System ein mentales Modell über das System, die Funktionsweise und die Bedienung. Dieses Modell muss zwar nicht technisch perfekt sein, aber es muss funktional sein, damit der Nutzer das System bedienen und dabei von seinem mentalen Modell geleitet werden kann. NORMAN weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass das mentale Modell des Nutzers in weiten Teilen von seinem Vorwissen, seinen technischen Vorerfahrungen und den Prinzipien menschlicher Informationsverarbeitung abhängig ist.

(4) *Das Modell des Wissenschaftlers über das mentale Modell des Nutzers $C(M(t))$* : Dies ist das kognitionswissenschaftliche Modell über ein mentales Modell und beschreibt das ideale Wissen, das ein Nutzer über ein System haben sollte. Es basiert auf dem konzeptuellen Modell und umfasst das Wissen, das der Wissenschaftler für das Systemverständnis als notwendig erachtet. Als ein wesentlicher Aspekt ist hier zu berücksichtigen, dass das psychologische mentale Modell von dem tatsächlichen mentalen Modell eines Nutzers abweicht (vgl. auch KLUWE & HAIDER, 1990).

NORMAN (1983) definiert drei relevante Eigenschaften eines Nutzermodells als Grundlage für die Formulierung des konzeptuellen Modells eines Wissenschaftlers:

(1) *Das Glaubenssystem*: ein mentales Modell reflektiert immer auch die Annahmen einer Person über das zu bedienende System. Diese Annahmen formen sich durch Systembeobachtungen und Schlussfolgerungen, aber auch durch Instruktionen, also auch durch Trainings. Das konzeptuelle Modell des Wissenschaftlers über das mentale Modell des Nutzers sollte immer auch ein Modell der relevanten Teile des Glaubenssystems enthalten.

(2) *Die Beobachtbarkeit*: dieser Aspekt beschreibt die notwendige Korrespondenz zwischen den Eigenschaften des Zielsystems t und den Eigenschaften des konzeptuellen Modells des Wissenschaftlers $C(M(t))$.

(3) *Die prädiktive Kraft*: Auf der Grundlage des mentalen Modells lernt der Nutzer das Systemverhalten zu verstehen und zu antizipieren. Nutzern sollte es daher möglich sein, ihre Modelle mental zu simulieren. Daraus folgt die Forderung, dass das konzeptuelle Modell des Wissenschaftlers ein kognitionswissenschaftliches Modell der relevanten menschlichen Informationsverarbeitungsprozesse und Wissensstrukturen beinhalten muss. Die Berücksichti-

gung dieses Aspekts wird besonders im Zusammenhang mit der Gestaltung von Trainingsprogrammen bedeutsam.

Verwendet man die von NORMAN (1983) vorgestellte Taxonomie als Grundlage für das Design von Operateur-Trainings, lassen sich verschiedene Gestaltungsprobleme als Herausforderungen ableiten. Idealerweise dient das konzeptuelle Modell als Grundlage für die Konzeption von Trainingsprogrammen. Das bedeutet, dass die akkurate Entwicklung eines konzeptuellen Modells eine Grundvoraussetzung dafür ist, dass die Eigenschaften des Zielsystems für den Nutzer übersetzt werden. Eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Systemdesignern, Ingenieuren und Trainingsentwicklern sollte daher eine Grundvoraussetzung für die Übersetzung des Zielsystems in ein konzeptuelles Modell sein.

Eine weitere Schwierigkeit besteht in der Messung des Trainingserfolgs. Das kognitions-wissenschaftliche Modell über ein mentales Modell beinhaltet die ideale Formulierung des Wissens, das mit einem Training vermittelt werden soll. Durch den Einsatz von Trainings kann aber immer nur eine Annäherung an die Annahmen über das mentale Modell des Nutzers, d.h. das kognitions-wissenschaftliche Modell des Wissenschaftlers, erreicht werden. Gestaltet man also ein Training auf der Grundlage des konzeptuellen Modells sowie des Wissenschaftler-Modells, sollte bei der Überprüfung des Trainingserfolgs immer mit berücksichtigt werden, dass allein auf der Grundlage der Annäherung an dieses Wissenschaftler-Modell keine umfassenden Aussagen über die Güte des Nutzermodells zu treffen sind.

Abschließend lässt sich der theoretische Zugang NORMANS dahingehend zusammenfassen, dass die Annahmen eine grundlegende Einordnung des Konzeptes mentaler Modelle anbieten. Im Hinblick auf die Gestaltung von Trainingsprogrammen ist es allerdings notwendig, das spezifische Wissen, das in mentalen Modellen über komplexe Systeme repräsentiert ist, sowie die Merkmale des Wissenserwerbs differenzierter zu betrachten. Eine Beschreibung dessen, wie das mentale Modell entsteht und welches Wissen im Modell repräsentiert ist, wird von NORMAN (1983) nicht ausführlich beschrieben. Die im Folgenden vorgestellten Theorien von RASMUSSEN (1986) sowie RASMUSSEN und LIND (1981) und von MORAY (1999) fokussieren den Erwerb mentaler Kausalmodelle sowie relevante Wissensarten im Zusammenhang mit Prozesskontrolltätigkeiten.

3.2.3 Die Abstraktionshierarchie von Rasmussen

RASMUSSEN UND LIND (1981) beschreiben das Konstrukt der mentalen Kausalmodelle im Zusammenhang mit Störungsdiagnose- und Störungsmanagementtätigkeiten bei neuen oder unbekanntem Systemzuständen von technischen Systemen. Sie gehen davon aus, dass Operateure sich auf Repräsentationen von Konzepten berufen, die sich auf die systeminterne Kausalstruktur beziehen. Mentale Kausalmodelle dynamischer Systeme dienen dazu, zukünftiges Systemverhalten vorherzusagen, Ursachen für beobachtete Abnormitäten und Störungen zu finden sowie angemessene Eingriffe in das System vorzunehmen (RASMUSSEN, 1983). RASMUSSEN (1983) unterscheidet drei Verhaltensebenen bei der Interaktion mit komplexen Systemen. Auf der fertigkeitbasierten Ebene (*skill-based*) agiert der Operateur ohne bewusste Kontrolle, er reagiert automatisch auf Routineinformationen aus dem System. Einen Schritt tiefer geht die regelbasierte Ebene (*rule-based behaviour*). Hier bezieht der Operateur im Vorfeld der Ausführung einer Handlung bewusst Informationen aus dem System mit ein, um sie mit gelernten Regeln abzugleichen. Die von RASMUSSEN (1983) als tiefste Wissensebene beschriebene Ebene des wissensbasierten Verhaltens (*knowledge-based behaviour*) wird immer dann aktiviert, wenn neue Situationen auftauchen, in denen problemlöseorientiertes Verhalten erforderlich ist. Verhalten auf der Grundlage von Wissen über Ursache-Wirkungs-Beziehungen ließe sich in der von RASMUSSEN (1983) vorgeschlagenen Unterteilung demnach der regelbasierten und der wissensbasierten Verhaltensebene zuordnen. RASMUSSEN (1983) geht davon aus, dass sich die Effizienz des Menschen, Komplexität zu bewältigen, auf ein großes Repertoire verschiedener mentaler Repräsentationen der Umwelt zurückführen lässt, aus dem ad hoc Regeln zur Verhaltenskontrolle generiert werden können. Die Erforschung der Beschaffenheit mentaler Modelle ist demnach für die Gestaltung und Untersuchung von komplexen Mensch-Maschine-Systemen von großer Bedeutung. Auf der Grundlage von Analysen verbaler Protokolle von Prozesskontrolltätigkeiten und Computerwartungstätigkeiten entwickelte RASMUSSEN (1983) eine Abstraktionshierarchie zur Beschreibung von Wissensarten. Die Grundannahme dieser Hierarchie besagt, dass die funktionalen Eigenschaften eines Systems zu verschiedenen Abstraktionslevels gehören. Abbildung 3.1 gibt einen Überblick über die Abstraktionshierarchie. Auf der niedrigsten Stufe ist das Wissen über die *physikalische Form* repräsentiert. Auf der Stufe 2 (*physikalische Funktionen*) ist Wissen über die physikalischen Prozesse sowie Funktionen der verschiedenen Komponenten und Subsysteme in einer fachspezifischen Sprache (Jargon) repräsentiert. Stufe 3 (*generalisierte Funktionen*) beinhaltet Wissen über die funktionalen Eigenschaften. Dieses Wissen ist

in allgemeinen Konzepten repräsentiert, ohne Bezug zu den physikalischen Prozessen innerhalb des Systems. Die Stufe 4 (*Abstrakte Funktionen*) umfasst die Repräsentation von Wissen auf einer noch stärker verallgemeinerten Basis. Auf der höchsten Stufe ist schließlich das Wissen über die *Systemziele* repräsentiert.

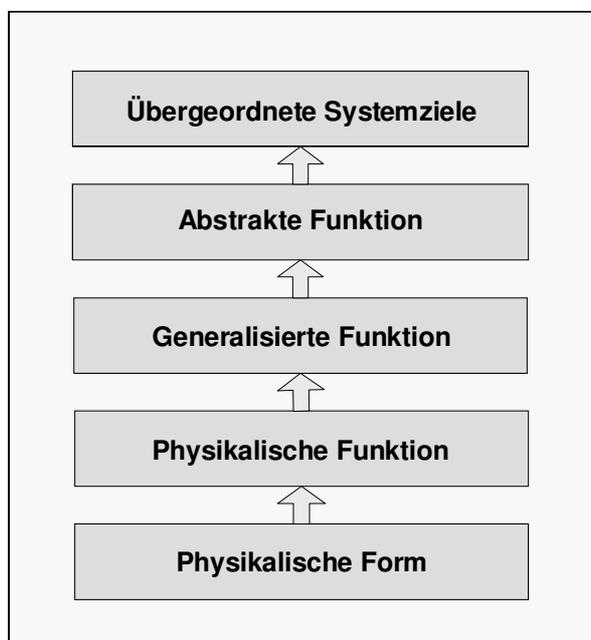


Abbildung 3.1: Die Abstraktionshierarchie nach Rasmussen (1983)

Der theoretische Zugang von RASMUSSEN und LIND (1981) lässt sich vor dem Hintergrund der Brauchbarkeit für die Gestaltung von Trainingsstrategien dahingehend zusammenfassen, dass vor allem die Überlegungen zur Art der Beschaffenheit des Wissens auf den verschiedenen Ebenen der Abstraktionshierarchie konkrete Hinweise für die Trainingsentwicklung liefern. Betrachtet man die Abstraktionshierarchie in Verbindung mit den Grundannahmen von NORMAN (1983), so muss bei der Beschreibung des konzeptuellen Modells berücksichtigt werden, auf welchen Ebenen das Zielsystem beschrieben werden sollte. Dem Lernenden müssen einerseits Informationen über die physikalischen Funktionen und das zugrunde liegende Systemverhalten zur Verfügung gestellt werden. Andererseits muss auch das Eingriffswissen in das System sowie das Wissen über die Benutzungsschnittstelle und Wissen auf abstrakteren Ebenen vermittelt werden. Der Operateur baut Wissen auf der fertigungs-, regel- bzw. wissensbasierten Ebene auf. Auf jeder dieser drei Ebenen können Differenzen zwischen dem konzeptuellen Modell, dem Wissenschaftler-Modell sowie dem mentalen Modell des Nutzers entstehen. Diese Differenzen müssen bei der Messung des Trainingserfolgs im Rahmen von Trainingsmaßnahmen berücksichtigt werden. Eine spezifische Erklärung, wie dieses Wissen erworben wird, findet sich in den konzeptuellen Überlegungen

von RASMUSSEN und LIND (1981) leider nicht. Dennoch bieten die Autoren eine anschauliche Beschreibung dessen, wie das Wissen angewendet wird.

3.2.4 Mentale Modelle nach Moray

Welches Wissen ist in mentalen Kausalmodellen repräsentiert und wie erwirbt der Operateur Wissen über Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge? Eine Antwort auf diese Frage bietet MORAY im Rahmen seiner Theorie der *Mental Lattices*. MORAY (1999) beschreibt das kausale mentale Modell als eine Form von Wissensrepräsentation, die es dem Operateur erlaubt, über kausale Strukturen innerhalb eines komplexen Systems nachzudenken sowie über Funktionsweisen des Systems zu reflektieren. Er geht davon aus, dass Wissen in mentalen Modellen weniger in Form von Gleichungen, Transferfunktionen oder Differential- und Integralgleichungen repräsentiert ist. Vielmehr muss das Wissen über und das Verständnis von verschiedenen Kausalitätsformen innerhalb des Systems im mentalen Modell repräsentiert sein. Er schlägt die klassische philosophische Kausalanalyse als eine wissenschaftliche Herangehensweise vor, um die Beziehungen zwischen Informationsdisplays, Trainings und Störungsdiagnosen aufzuzeigen. Im Fokus der Betrachtung steht die aristotelische Unterscheidung einer Ursache in vier Bedeutungen: (1) *causa finalis*: beschreibt das Ziel, oder sogar Gründe. (2) *causa efficiens*: beschreibt die Veränderung in Relation zum zugrunde liegenden physikalischen Prozess. (3) *causa materialis*: beschreibt die direkte physikalische Einwirkung durch den Operateur. (4) *causa formalis*: beschreibt die logisch notwendige Veränderung (z.B. die Temperatur steigt an, weil sich die Farbe des Thermometers verändert). Die *causa finalis* bestimmt, welche *causa materialis* (Handlung) der Operateur einsetzen will, um die *causa efficiens* (chemische oder physikalische Veränderungen) eine Situation erzeugen zu lassen, die eine *causa formalis* für den Operateur darstellt, dass sich der Prozess wie gewünscht verändert hat. Nach MORAY ist die *causa materialis* die Kausalitätsart, die wir in der Interaktion mit unserer Umwelt am häufigsten wahrnehmen. Diesen Vorüberlegungen folgend würde man also annehmen, dass ein entwickeltes mentales Kausalmodell dem Operateur Wissen bereitstellt, das ihm erlaubt, Zugang zu allen vier Kausalitätsarten zu haben. Aus dieser Betrachtungsperspektive ergeben sich einige Implikationen, beispielsweise für die Gestaltung von Trainingsmaßnahmen: Zum einen argumentiert MORAY (1999), dass ein rein theoretisches Training nicht dafür geeignet ist, notwendiges Wissen für Störungsdiagnosetätigkeiten zu vermitteln (vgl. auch DUNCAN, 1981). Wenn man davon ausgeht, dass verschiedene Formen von Kausalität in einem mentalen Modell repräsentiert sind, sollten folgerichtig

diese verschiedenen Arten auch Bestandteil eines Trainings sein. In Bezug auf die Trainingsgestaltung beklagt MORAY (1990), dass akademische oder theoretische Trainings zwar häufig die *causa efficiens* trainieren, dass diese aber von ihren spezifischen Umschreibungen isoliert trainiert wird. Bestandteil des Trainings sollten daher eher Kombinationen aus allen Kausalitätsarten sein.

MORAY (1990) schlägt vier hauptsächliche Wege vor, auf denen Operateure ihr Wissen über eine Anlage aggregieren. Sie bilden die Grundlage dafür, dass Operateure Wissensnetzwerke ausbilden. Diese Überlegungen weisen zum Teil große Ähnlichkeit zu den Gestaltgesetzen der Wahrnehmung (WERTHEIMER, 1925) auf:

(1) Wenn Komponenten einander physikalisch ähnlich sind, werden sie als zugehörig zu einem Konstrukt höherer Ordnung wahrgenommen (Gesetz der Ähnlichkeit). So werden beispielsweise alle roten Schalter zusammengehörig wahrgenommen.

(2) Wenn das Verhalten von zwei Komponenten korreliert, werden sie als zugehörig zu einem Konstrukt höherer Ordnung angesehen (Gesetz der gemeinsamen Bewegung/der Gleichzeitigkeit). Steigen beispielsweise zwei Parameter gleichzeitig, werden sie als zusammengehörig wahrgenommen.

(3) Werden zwei Variablen als kausal verbunden angesehen, werden sie zugehörig zu einem Konstrukt höherer Ordnung angesehen. Ist beispielsweise sichtbar, dass Steuerung 10 sowohl Pumpe A als auch Pumpe B dazu veranlasst, zu beschleunigen, dann wird dies so wahrgenommen, dass alle drei Komponenten zu demselben Subsystem gehören.

(4) Komponenten, die demselben Zweck zu dienen scheinen, werden als zugehörig zu einem Konstrukt höherer Ordnung angesehen (Gesetz des gemeinsamen Schicksals).

Zusammengefasst liefern die theoretischen Überlegungen von MORAY (1990) vor dem Hintergrund ihrer Eignung für die Gestaltung von Trainingsstrategien vor allem einen Beitrag dazu, wie Wissen in der Interaktion mit Systemen erworben wird. Die über die vier Wege erworbenen Wissensnetzwerke spiegeln das Verständnis der Operateure des zu überwachenden Systems wider. MORAY (1990) geht davon aus, dass Operateure diese Netzwerke („*mental lattices*“, MORAY, 1990) als Ergebnis der Systembeobachtung und der Systeminteraktion ausbilden. Im Wissenserwerbsprozess denken Operateure über die Anlage hinsichtlich ihres Zwecks, ihrer Kausalität, ihrer Korrelationen sowie ihrer Topologie nach. Diese vier Ebenen des kausalen Wissenserwerbs sind bei der Gestaltung von Trainingsstrategien als bedeutsamer Bestandteil zu berücksichtigen. Ein Training sollte sowohl Informationen über

die Topologien als auch über die Korrelationen und Kausalitäten zwischen den Subsystemen und ihren Komponenten bereitstellen. Darüber hinaus ist die Betonung des Systemzwecks ein wesentlicher Faktor, der es den Operateuren ermöglicht, angemessenes Wissen über die zu steuernde Anlage aufzubauen. Schließlich sollten die Möglichkeiten für Systembeobachtungen und Eingriffe in das System als ein weiterer elementarer Bestandteil in das Training integriert werden.

3.2.5 Mentale Kausalmodelle nach de Kleer und Brown

Eine anschauliche Beschreibung des Erwerbs mentaler Kausalmodelle einfacher technischer Geräte findet sich bei DE KLEER und BROWN (1983). Eine Veranschaulichung ihrer theoretischen Überlegungen bietet Abb. 3.2. Demnach sind an der Entwicklung eines mentalen Kausalmodells vier Prozesse beteiligt. In einem ersten Schritt erwirbt der Lernende Wissen über die am Gerät beteiligten Komponenten sowie Wissen darüber, welche Systemkomponenten miteinander verbunden sind. Diesen Schritt bezeichnen DE KLEER und BROWN als Erwerb einer Gerätetopologie. Er beschreibt den Aufbau der mentalen Repräsentation der einzelnen Komponenten des Gerätes, ihrer räumlichen Anordnung und ihrer Verbindungen. Für jede Komponente des Gerätes wird ein Komponentenmodell angenommen, in dem das Wissen über die möglichen Verhaltensweisen einer Komponente repräsentiert ist.

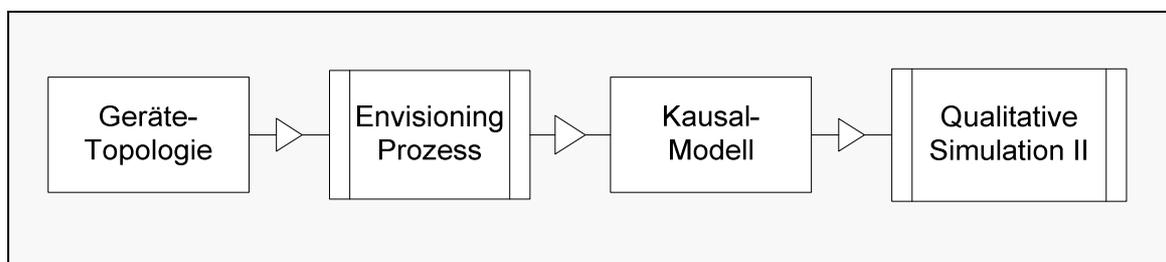


Abbildung 3.2: Erwerb von Kausalen Modellen nach de Kleer und Brown (1983)

Damit ein Kausalmodell der Funktionsweise des Geräts entstehen kann, muss ein Envisioning durchlaufen werden, ein mentaler Veranschaulichungsprozess, in dem für jede einzelne Komponente mental simuliert wird, mit welchen anderen Komponenten sie kausal verknüpft ist. Weiterhin wird in diesem Prozess mental simuliert, welche Zustände jede einzelne Komponente annehmen kann und wie sich eine Zustandsänderung einer Komponente auf andere Komponenten des Gerätes auswirkt. Das Envisioning ist ein Deduktionsprozess, in dem die Funktionen der Komponenten ermittelt werden. Zustände sind meist qualitative Attribute, wie z.B. *an* vs. *aus* oder *steigend* vs. *fallend*. Jede Komponente hat einen Definitions-

teil und einen Übergangsteil. Der Definitionsteil beschreibt, welche Auswirkungen der Zustand auf andere Teile des Gerätes hat. Der Übergangsteil beschreibt, wann der Zustand 1 in den Zustand 2 übergeht. Um die Funktionsweise des gesamten Gerätes zu bestimmen, müssen alle einzelnen Komponenten beschrieben und zugehörige miteinander verbunden werden. Am Ende des Envisionings liegt als Resultat ein mentales Kausalmodell vor. Es repräsentiert die kausalen Zusammenhänge zwischen den Komponenten und deren Zustände und beschreibt die Arbeitsweise bzw. die Funktionsweise des Geräts über konditionale Regeln (wie beispielsweise das Wissen über Input-Output-Regeln zur Systemsteuerung etc.). Dieses Kausalmodell lässt sich in einer qualitativen Simulation höherer Ordnung mental simulieren (*Running of the causal model*). Diese Simulation wird deshalb als eine der höheren Ordnung bezeichnet, da auf dieser Ebene nicht einfache Beziehungen zwischen den Systemkomponenten veranschaulicht werden, sondern komplexere Zusammenhänge innerhalb des technischen Systems. Hier entstehen beispielsweise Vorhersagen eines spezifischen Verhaltens des Gerätes auf der Grundlage des Kausalmodells. Ausgehend von einem angenommenen Zustand einer Komponente können Auswirkungen auf andere Komponenten des Gerätes und ihre Zustände simuliert und vorhergesagt werden.

Zusammengefasst liefert der Ansatz von DE KLEER und BROWN (1983, 1986) eine differenzierte Beschreibung des Erwerbs mentaler Kausalmodelle und der Prozesse, die auf den jeweiligen Stufen durchlaufen werden. Gerade dies stellt für die Ableitung von Trainingsstrategien einen brauchbaren Zugang dar. Allerdings beschränken sich die Annahmen auf den Erwerb kausaler Modelle über einfache technische Geräte. Für eine Übertragung auf komplexere technische Systeme ist die Einbeziehung von Eingriffswissen in dynamische Prozesse erforderlich.

3.2.6 Mentale Kausalmodelle nach Kieras und Bovair

KIERAS (1988) fand heraus, dass viele unterschiedliche Wissensarten sichtbar werden, wenn man Novizen und Experten zu ihrem Wissen über ein technisches Gerät befragt. Die zentrale Frage betrifft allerdings das Wissen darüber, was die Benutzer technischer Systeme wissen müssen, um die Systeme bedienen zu können (vgl. S.86). KIERAS (1988) unterscheidet zwischen "how it works" und "how to work it knowledge". KIERAS und BOVAIR (1984) verwenden den Terminus des Gerätemodells in Abgrenzung zum mentalen Modellbegriff, wie er beispielsweise von JOHNSON-LAIRD (1983) benutzt wird. Sie definieren ein Gerätemodell als „some kind of understanding of how the device works in terms of its internal

structures and processes” (S.255). Die Arbeiten von KIERAS und BOVAIR entstanden vor dem Hintergrund der Auseinandersetzung damit, inwieweit Nutzer technischer Geräte tatsächlich detailliertes Wissen über die Funktionsweise des Geräts aufbauen müssen, um es bedienen zu können. Vertreter einer technikzentrierten Sichtweise gehen davon aus, dass das Wissen über alle Funktionen in ihrer Komplexität nicht notwendig ist. So sind beispielsweise die meisten Telefonnutzer dazu in der Lage, ein Telefon zu bedienen, ohne jedoch alle Komponenten und die Funktionsweise des Telefons zu verstehen. Vertreter der psychologischen Sichtweise gehen allerdings davon aus, dass das Wissen über die Funktionsweise nützlich und wertvoll ist, vor allem in den Situationen, in denen keine Routinetätigkeiten oder neuartige Aufgaben ausgeführt werden. KIERAS und BOVAIR (1984) verweisen auf verschiedene Studien, in denen gezeigt werden konnte, dass das Vorhandensein eines Gerätemodells den Umgang mit technischen Geräten eindeutig verbesserte. In anderen Untersuchungen hingegen konnte der positive Einfluss eines Gerätemodell-Trainings nicht oder nur eingeschränkt bestätigt werden (vgl. HALASZ & MORAN, 1983). Um die Bedeutung des Gerätemodellerwerbs im Umgang mit technischen Geräten differenzierter zu untersuchen, führten KIERAS und BOVAIR drei Studien durch, in denen sie den Zusammenhang zwischen Gerätemodellen und verschiedenen kognitiven Leistungen untersuchten. In der ersten Studie fanden sie heraus, dass das Vorhandensein eines Gerätemodells die Lern- und Erinnerungsleistung fördert. Allerdings konnten sie anhand dieser Studie nicht zeigen, auf welche Art und Weise diese Effekte hervorgebracht wurden. Sie vermuten, dass das Wissen darüber, wie ein Gerät funktioniert, den Lerner dabei unterstützt abzuleiten, wie das Gerät zu bedienen ist. In einem zweiten Experiment untersuchten sie daher anhand der Technik des lauten Denkens, inwieweit sich Lerner auf das vorher präsentierte Gerätemodell beziehen, wenn sie gebeten werden, Prozeduren mit einem Gerät auszuführen. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Lerner mit dem Gerätemodell bei der Erklärung ihrer Handlungen und des Geräteverhaltens fast ausschließlich auf das Gerätemodell bezogen. Im Gegensatz dazu verfolgte die Kontrollgruppe der Auswendig-Lerner eine systematische Versuch- und Irrtum-Strategie und beschrieb das Systemverhalten auf einer eher oberflächlichen Ebene. Als mögliche Gründe für die eindeutig bessere Leistung der Experimentalgruppe geben KIERAS und BOVAIR an, dass die Visualisierung des Gerätemodells vorwiegend auf einer Visualisierung der Gerätetopologie und damit der Information, welche Komponenten miteinander verbunden sind basierte als auch auf den Prinzipien des Energieflusses. Diese gebündelte Information ermöglichte die Schlussfolgerungen auf Prozeduren. In einem dritten Experiment untersuchten sie,

welche Information des Gerätemodells so bedeutsam ist, dass sie zu einer besseren Verwendung des technischen Gerätes führt. Die Ergebnisse zeigen, dass der größte Effekt von der speziellen „how-it-works“- Information im Sinne der Systemtopologie ausging, in der die Kontrollmöglichkeiten mit den Komponenten sowie den möglichen Energieflüssen verbunden wurden. Für die Gestaltung von Trainingsstrategien sind die Arbeiten von KIERAS und BOVAIR vor allem deshalb bedeutsam, weil sie die Unterscheidung von Fakten- und Eingriffswissen hervorheben. Eine Beschreibung dessen, wie Fakten- und Eingriffswissen erworben wird, liefern sie allerdings nicht.

3.3 Ableitung eines Rahmenmodells zum Erwerb mentaler Kausalmodelle

In den vorangehenden Kapiteln wurden einige wichtige Theorien und Modelle zu mentalen Kausalmodellen vorgestellt und vor dem Hintergrund ihrer Eignung für die Ableitung von Trainingsstrategien diskutiert. Abschließend lässt sich bewerten, dass keines der vorgestellten Modelle für sich allein genommen eine umfassende Grundlage für die Ableitung von Trainingsstrategien für die Bedienung komplexer technischer Systeme liefert. Für die Trainingsgestaltung ergeben sich Forderungen an den Erklärungswert des Modells: das Modell sollte den Umgang mit komplexen technischen Systemen und folglich den Interaktionsaspekt behandeln. Es sollte sowohl den Prozess des Wissenserwerbs als auch das repräsentierte Wissen beschreiben und letztlich Ansätze dafür liefern, was im Rahmen eines Trainings berücksichtigt werden sollte.

Auf der Grundlage des Wissens über Aufgabencharakteristiken von Operateuren in komplexen Systemen wird im folgenden Abschnitt ein Rahmenmodell zum Erwerb mentaler Kausalmodelle (KLOSTERMANN, 2007a) vorgestellt. Dieses Rahmenmodell wurde auf der Grundlage der beschriebenen theoretischen Ansätze entwickelt und schafft die Basis für die Ableitung und empirische Überprüfung von Trainingsstrategien. In dem hier beschriebenen Rahmenmodell werden die strukturellen Annahmen von DE KLEER und BROWN (1982; 1983) zum Erwerb mentaler Kausalmodelle einfacher technischer Geräte als Grundlage herangezogen. Da sich die Merkmale komplexer Prozessführungstätigkeiten von denen einfacher technischer Geräte unterscheiden, wird das Rahmenmodell um zusätzliche Annahmen der oben beschriebenen Theorien zu mentalen Kausalmodellen erweitert. Somit werden im Rahmenmodell Ansätze von DE KLEER und BROWN (1983), KLUWE (1991), MORAY (1990) und RASMUSSEN und LIND (1981) und KIERAS und BOVAIR (1984) integriert. Abbildung 3.3

zeigt die graphische Darstellung des Rahmenmodells. Im Folgenden werden die einzelnen Komponenten und deren Interaktionen beschrieben.

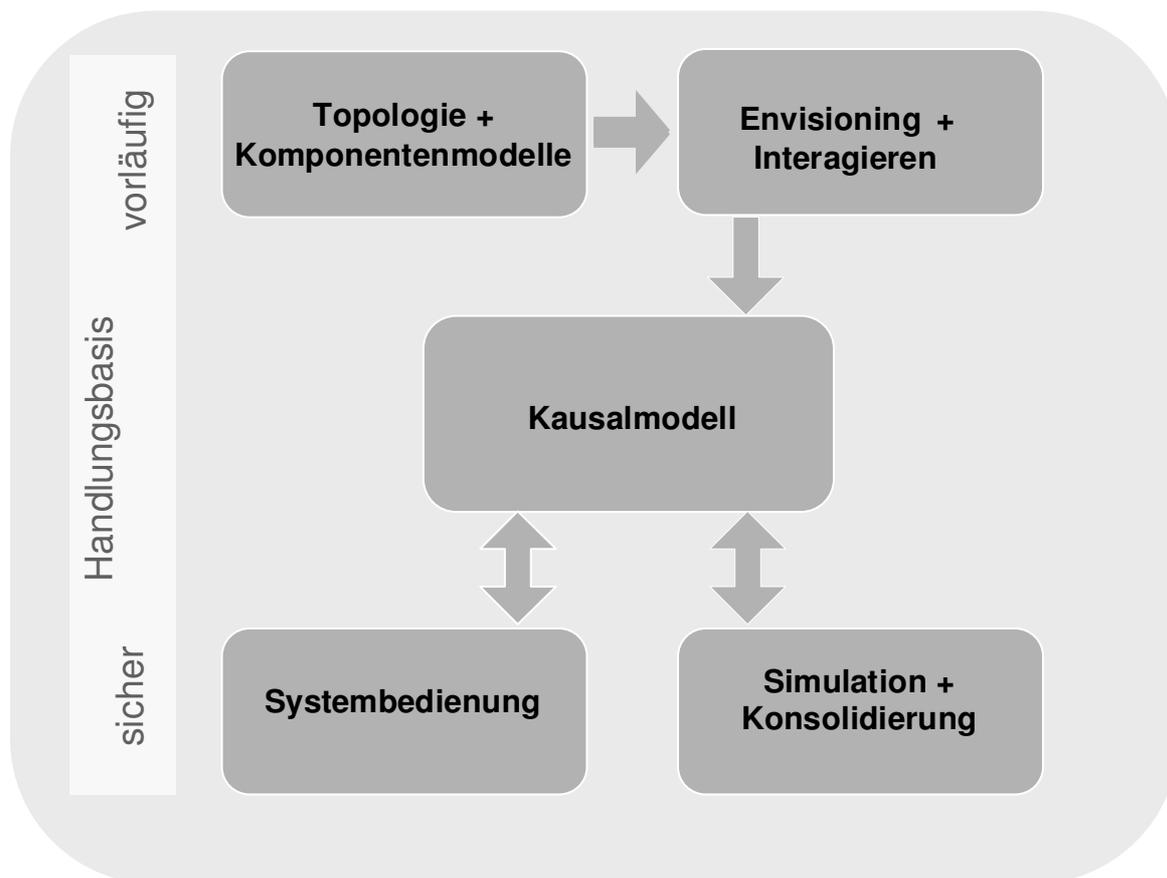


Abbildung 3.3: Modell zum Erwerb mentaler Kausalmodelle

3.3.1 Topologische Repräsentation

Auf dieser ersten Stufe erwirbt der Lernende Antworten auf die Fragen „Was ist?“ und „Was hängt zusammen?“. Es wird davon ausgegangen, dass der Lernende dieses Wissen zunächst in Form einer topologischen Repräsentation über die wesentlichen, am System beteiligten Komponenten erwirbt (vgl. auch physikalische Form und Funktion bei RASMUSSEN, 1983). Der Lernende bildet ebenfalls eine erste Repräsentation über die Struktur des technischen Systems und dessen physikalische Organisation aus (z.B. beim Dampfkraftwerk: Dampfgenerator, Turbine, Kondensator). Es wird angenommen, dass das Faktenwissen auf dieser ersten Stufe in Form von Systemwissen repräsentiert wird, d.h., das Wissen auf dieser Stufe umfasst Kenntnisse über die Beschaffenheit und das Verhalten eines Systems (Wissen über die Systemkomponenten und über deren strukturelle Organisation und spezifische Funktionsmerkmale). Dabei spielt das jeweilige Vorwissen des Lernenden, beispielsweise über physikalische Prozesse, eine entscheidende Rolle. Durch Informationen anhand von

Schulungen, Handbüchern, Trainingseinheiten sowie durch das jeweilige Vorwissen wird das Faktenwissen über die Beschaffenheit der Systemkomponenten erworben.

Für ein tieferes Verständnis eines komplexen Systems reicht die Repräsentation der Systemstruktur allein allerdings nicht aus (vgl. RASMUSSEN & LIND; Kapitel 3.2.3). Darüber hinaus muss der Lernende einerseits Wissen über die zugrunde liegenden technischen Prozesse erwerben, d.h. deklaratives Wissen in Form von Bereichswissen aufbauen. Andererseits muss der Lernende deklaratives Wissen in Form von Aktionswissen und Kontroll- und Steuerungswissen (RASMUSSEN & LIND, 1981; MORAY, 1999) erwerben, um eine mentale Repräsentation über das System aufbauen zu können (Bedienung und Rückmeldung durch Anzeigen). Es wird davon ausgegangen, dass der Erwerb einer topologischen Struktur die Integration dieser drei Ebenen umfasst. Die topologische Repräsentation bildet ebenfalls die Grundlage für das sich anschließende Envisioning (vgl. DE KLEER & BROWN, 1982,1983). Eine notwendige Voraussetzung für die Interaktion mit technischen Systemen ist das Wissen in Form von Komponentenmodellen. Komponentenmodelle sind Möglichkeitsräume, in denen die möglichen Zustände und Zustandsänderungen für jede Komponente einzeln gelernt und repräsentiert werden können. Als Resultat der topologischen Repräsentation und der Repräsentation von Komponentenmodellen hat der Operateur eine vorläufige Handlungsbasis erworben (vgl. KLUWE & HAIDER, 1990). Diese befähigt ihn dazu, mit dem System zu interagieren und sein noch unsicheres Wissen zu testen. Für den Aufbau eines auf tiefer gehendem Systemverständnis basierenden Kausalmodells müssen allerdings noch weitere Prozesse der Wissensgenerierung durchlaufen werden.

3.3.2 Envisioning und Interagieren

Im Zuge dieser Stufe des Wissenserwerbsprozesses erwirbt der Lernende Antworten auf die Fragen „Wie hängt es zusammen?“ und „Wie kann ich es verändern?“. Das Envisioning im Sinne von DE KLEER und BROWN (1983) kann als ein stufenweiser Angleichungs- und Abgrenzungsprozess verstanden werden, indem es auch vorkommt, dass unrichtige Annahmen aufgestellt und wieder verworfen werden. Die Autoren gehen allerdings nicht darauf ein, wie durch bloße gedankliche Veranschaulichung falsche Annahmen überprüft und, falls notwendig, korrigiert werden können. In Abgrenzung zu DE KLEER und BROWN (1983) wird in dem hier vorgestellten Rahmenmodell davon ausgegangen, dass ab einer bestimmten Komplexität nicht mehr gewährleistet werden kann, dass allein durch Envisioning die Funktionsweise eines gesamten Systems gelernt und repräsentiert wird. Darüber hinaus muss der

Lernende aktiv mit dem System interagieren, um sein Wissen über Prozesszusammenhänge, die Visualisierung auf der Nutzeroberfläche und mögliche Bedieneingriffe in das System zu integrieren, mental zu simulieren und letztendlich repräsentieren zu können. In dem hier vorgestellten Modell wird an dieser Stelle ein weiterer Aspekt des Wissenserwerbs angenommen: die Interaktion mit dem zu lernenden System. Auf der Grundlage topologischer Information wird ein Prozess mentaler Simulation des Zusammenspiels der Systemkomponenten durchlaufen, dessen Ziel die Entwicklung eines mentalen Kausalmodells über das technische System und dessen Bedienung ist. Die im ersten Schritt erworbene topologische Struktur wird auf die Funktion des Systems übertragen. Kritisch für die Entwicklung eines mentalen Kausalmodells ist die Kenntnis der Funktionen der einzelnen Systembestandteile. Das Envisioning kann in Anlehnung an KLUWE und HAIDER (1990) als ein wissensgenerierender Prozess verstanden werden, der beispielsweise zur Ableitung von Kontroll- und Steuerregeln aus dem Systemwissen dient. Es werden hier aber auch solche Prozesse angesprochen, bei denen es um Strategien zur Generierung neuen Systemwissens geht, wie es etwa durch die systematische (angeleitete Interaktion) geschieht. Das Envisioning betrifft in diesem Modell allerdings nicht nur die gerätetopologischen Aspekte, wie es bei DE KLEER und BROWN (1983) der Fall ist, sondern muss auf den verschiedenen Ebenen des Systemverständnisses (vgl. RASMUSSEN & LIND, 1981) eingesetzt werden. Dies ermöglicht die mentale Simulation von möglichen Störungen im Systemverhalten. Ein Kausalmodell zu entwickeln, bedeutet nicht nur, eine Repräsentation über die normale Funktionsweise zu erwerben, sondern darüber hinaus ein Modell möglicher Fehler zu entwickeln (vgl. DE KLEER & BROWN, 1982; vgl. Kap. 4.2.4).

Für die Übertragung auf komplexere Systeme besteht die Notwendigkeit, Wissen darüber aufzubauen, wie das System bedient wird. KIERAS (1988) spricht in diesem Zusammenhang von „how to work it knowledge“ (vgl. Kap.3.2.4). Es wird davon ausgegangen, dass die Annahmen über die Wirkweise des Systems durch die Interaktion mit dem System überprüft werden müssen. Dies kommt einem hypothesengeleiteten Wissensaufbau gleich. Die Rückmeldung aus dem System macht es dem Lernenden einfacher, Wirkzusammenhänge zwischen Systemkomponenten zu verstehen. Durch die Interaktion mit dem System wird vorher gelerntes Wissen ebenfalls prozeduralisiert. KLUWE und HAIDER (1990) sprechen in diesem Zusammenhang von Wissenstransformationsprozessen. Um ein Ursache-Wirkungs-Modell über die Bedienung des Systems aufzubauen, ist es daher notwendig, dass sich der Lernende aktiv mit dem System beschäftigt. KLUWE (1996) betont, dass „Lernen durch Tun“ vor allem

bei komplexen Sachverhalten eine wichtige Form des Lernens darstellt. Der kombinierte Envisioning- und Interaktionsprozess stellt eine Art Abbildungsprozess dar, der auf der Grundlage des Systemwissens sowie des Input-Output-Wissens das Wissen über die Funktionsweise des gesamten Systems (d. h. das Kausalmodell) als Ergebnis hervorbringt (vgl. dazu auch KLUWE & HAIDER, 1990).

3.3.3 Kausalmodell

Auf dieser Stufe erwerben Lernende Wissen darüber, wie das System funktioniert. Im Kausalmodell ist die Funktionsweise des Systems repräsentiert, also das Wissen darüber, wie das Systemverhalten aus den konstituierenden Komponenten und deren kausalem Zusammenspiel resultiert. In dem hier beschriebenen Rahmenmodell wird die Repräsentation der Funktionsweise des Systems als das Wissen über das Zusammenspiel der Prozesskomponenten sowie das Wissen über die Auswirkungen von Eingaben in das System verstanden. Weiterhin wird angenommen, dass das Kausalmodell über die Bedienung eines komplexen dynamischen Systems niemals vollständig und fehlerfrei ist. Das Kausalmodell repräsentiert Wissen aus dem Langzeitgedächtnis, das im Arbeitsgedächtnis abrufbar und verbalisierbar ist (vgl. MORAY, 1997). In Anlehnung an Norman (1983) wird allerdings davon ausgegangen, dass das Kausalmodell gewissen Beschränkungen unterliegt. Gerade im Hinblick auf die Untersuchung von Kausalmodellen von Operateuren technischer Systeme ist es notwendig, diese Beschränkungen zu berücksichtigen. So kann es vorkommen, dass im Kausalmodell unvollständiges Wissen über das System repräsentiert ist, unabhängig davon, wie gründlich ein Training vorbereitet wurde und wie lange der Lernende trainiert wurde. Ein weiterer wesentlicher Aspekt betrifft die Instabilität des Kausalmodells und das resultierende Vergessen von Funktionsweisen von Subsystemen, mit denen der Operateur über eine längere Zeit nicht arbeiten musste. Schließlich muss noch der Aspekt der Sparsamkeit berücksichtigt werden. Das Kausalmodell repräsentiert die Realität nur in sehr vereinfachter und abstrahierter Form (vgl. auch MORAY, 1999). Dennoch befähigt das erworbene Kausalmodell den Lernenden zur Bedienung des Systems. Zusätzlich befähigt es ihn dazu, auf einer vollständigeren Wissensgrundlage über das System und dessen Funktionen und Zusammenhänge nachzudenken. In diesem Rahmenmodell ist das mentale Kausalmodell nicht der Endpunkt des Wissenserwerbsprozesses, sondern der Ausgangspunkt für die vertiefenden Erwerbsprozesse der Simulation und der Systembedienung.

3.3.4 Simulation und Konsolidierung

In dieser Wissenserwerbsphase beschäftigt sich der Lernende mit den Fragen „Was ist passiert?“ oder „Was könnte passieren?“. DE KLEER und BROWN (1983) sprechen vom „running of the causal model“, um mental ein bestimmtes Verhalten des Systems zu simulieren, indem eines oder eine Kette von Ereignissen vorgegeben werden, von denen jedes verbunden ist mit dem Vorhergehenden. Sie gehen davon aus, dass sich ein Lernender an diesem Punkt nur noch auf sein bereits existierendes Kausalmodell bezieht, und dass dieses Modell keiner weiteren Prüfung oder Veränderung mehr unterzogen werden muss. Jede weitere Simulation trägt ihrer Ansicht nach nur wenig neues Wissen zu der bereits explizit durch die erste Simulation entstandenen mentalen Repräsentation bei. Mag dies bei einfachen technischen Geräten noch zutreffen, ist dies bei komplexen technischen Systemen eher unwahrscheinlich. Schon allein die Komplexität des Systems bringt es mit sich, dass in den Wissenserwerbsstufen zuvor möglicherweise nicht alles Wissen fehlerfrei erworben wurde. Auch die Dynamik der Interaktion bringt es mit sich, dass das erworbene Kausalmodell stetig gefestigt, erweitert und verändert wird. Diese Prozesse können im Sinne der theoretischen Überlegungen von KLUWE und HAIDER (1990) sowie von MORAY (1990) auch als wissensgenerierende Prozesse auf einer höheren Wissensebene beschrieben werden. Sie dienen dazu, das bereits vorhandene mentale Kausalmodell zu differenzieren, zu abstrahieren und zu vereinfachen, um eine sichere Handlungsbasis für die Interaktion zu verfestigen.

3.3.5 Systembedienung

Schließlich stellt auch die Systembedienung einen Schritt im Prozess des Erwerbs eines mentalen Kausalmodells dar. Anhand des erworbenen mentalen Kausalmodells ist die effektive und effiziente Interaktion mit dem System auf der Grundlage einer weitgehend sicheren Handlungsbasis möglich (vgl. KLUWE & HAIDER, 1990). Diese Handlungsbasis beinhaltet das Vorhandensein von geeigneten Strategien und Heuristiken für die verschiedenen Tätigkeitsanforderungen. Das mentale Kausalmodell stellt für den Lernenden eine Struktur bereit, auf dessen Grundlage Bedieneingriffe möglich sind. Es liefert Wissen und Sicherheit für verschiedene Aufgaben der Kontrolle und Überwachung. Die Bedienung des Systems wiederum hat einen vielfältigen Einfluss auf das mentale Kausalmodell. Häufig ist das System mit seinem zugrunde liegenden Prozess äußerst komplex und kann in seiner Vollständigkeit nur schwer repräsentiert werden, was eine Reduktion der Information notwendig macht.

In der Interaktion mit dem System lernt der Operateur Vereinfachungen und Abkürzungen, die sein Modell formen. Ein Resultat der Systembedienung besteht daher in der Abstraktion und Reduktion des mentalen Kausalmodells (vgl. NORMAN, 1983). Auch der Umgang mit neuartigen Situationen hat einen Einfluss auf die Struktur des mentalen Kausalmodells. Es kann durch neue Erfahrungen und sich daraus ergebendem Wissen erweitert und verändert werden. Es kann allerdings auch vorkommen, dass ein Fehler im Kausalmodell die Bedienung des Systems erschwert oder gar unmöglich macht. In diesem Fall ist der Operateur gezwungen, sein mentales Kausalmodell zu korrigieren.

4 FÖRDERUNG DES WISSENERWERBS DURCH TRAININGS

In den vorausgehenden Kapiteln wurden grundlegende Aufgaben von Operateuren in sicherheitskritischen Systemen und das für die Erledigung dieser Aufgaben notwendige Wissen sowie Theorien des Wissenserwerbs vorgestellt. In den Kapiteln 2.1 und 2.2. wurde diskutiert, dass sicheres und effizientes Arbeiten das Wissen über geeignete Handlungsprozeduren im Umgang mit komplexen Systemen und das Vorhandensein eines adäquaten kausalen mentalen Modells über das zu bedienende komplexe System erfordert. Diese Qualifikationen erwerben Operateure im Rahmen einer umfangreichen Aus- und Weiterbildung. In dieser Arbeit wird angestrebt, die in den Kapiteln 2 und 3 beschriebenen kognitions- und ingenieurpsychologischen Theorien mit aus der Multimediapsychologie entstandenen didaktischen Gestaltungsprinzipien für computerbasierte Trainings zusammen zu bringen, um so zu einem optimierten Trainingskonzept zu gelangen. Das folgende Kapitel beschäftigt sich daher mit grundlegenden Fragen des Designs von computerbasierten Trainings für die zielgerichtete Unterstützung des Erwerbs mentaler Kausalmodelle von Operateuren in komplexen Mensch-Maschine-Systemen. Vor dem Hintergrund des Rahmenmodells zum Erwerb mentaler Kausalmodelle (vgl. Kap. 3.5) werden relevante Aspekte computerbasierter Trainingsstrategien vorgestellt. Insbesondere didaktische Ansätze aus der Multimedia- Psychologie werden in diesem Rahmen vorgestellt und im Hinblick auf ihre Umsetzbarkeit in ein Trainingskonzept diskutiert.

In der Literatur zur Trainingsforschung finden sich verschiedene Trainingsansätze, die jeweils unterschiedliche Anwendungsbereiche fokussieren. Dies erschwert eine einheitliche Definition des Trainingsbegriffs sowie die Klassifikation von typischen Trainingssituationen. Eine allgemeine Klassifizierung von Trainings vor dem Hintergrund der Human Factors Forschung findet sich bei STROHSCHNEIDER (2008). Ausgehend von der auszuführenden Aufgabe unterscheidet er drei Arten von Trainings. Der eine Bereich umfasst Trainings, in denen technische Fertigkeiten vermittelt werden sollen. Diese müssen „bereichsspezifisch aufgebaut sein“ (S.292), d.h. bezogen auf die jeweilige Anwendungsdomäne müssen spezielle Trainingsinhalte und Methoden aufeinander abgestimmt werden. Dann gibt es Trainings, in denen nichttechnische Fertigkeiten vermittelt werden, „die v.a. mit den psychologischen Bedingungen individueller Leistungsfähigkeit sowie der Gestaltung von Gruppenprozessen zu tun haben.“ (STROHSCHNEIDER, 2008, S.292). Die dritte Art von Trainings betrifft das

Vermitteln organisatorisch-strategischer Fähigkeiten. Diese Art von Trainings ist eher im Bereich der übergeordneten Führungsaufgaben angesiedelt.

Eine konkrete Einordnung des Trainingsbegriffs findet sich bei BERGMANN (1999, S.13), die unter dem Begriff des Trainings „spezifische Methoden der Lernunterstützung zur Bewältigung von Arbeitsaufgaben [...]. Sie sind in der Regel an spezielle Zielgruppen angepasst und haben spezifische Ziele, die in zu erreichenden Leistungskennwerten, z.B. Qualitätskennziffern, in der Anzahl selbstständig zu bewältigender Arbeitsaufgaben ausgedrückt sind“ zusammenfasst. Sie unterscheidet zwei Funktionen von Trainingsmaßnahmen: zum einen sollen sie Berufseinsteiger auf die spezifischen Arbeitsanforderungen an ihrem Arbeitsplatz vorbereiten, sie haben demnach die Funktion von Einarbeitungshilfen. Die zweite Funktion betrifft die kontinuierliche Unterstützung von Lernprozessen. Dies ist notwendig, um den Arbeitenden auf die Veränderungsdynamik in der Arbeitswelt, vor allem auf technische Innovationen vorzubereiten. Das übergeordnete Ziel in beiden Fällen ist es, ein gewünschtes Maß an Kompetenz in der Ausführung einer Aufgabe oder eines Jobs zu erreichen. Die in dieser Arbeit untersuchten Trainingsstrategien befassen sich mit dem Anwendungsbereich des Wissenserwerbs für Aufgaben in komplexen Mensch-Maschine-Systemen. Sie zielen darauf ab, den Lernenden für die Bearbeitung von Aufgaben in der Interaktion mit einem komplexen System zu trainieren (vgl. KLUGE, 2004). Sie lassen sich in Anlehnung an BLUM und NAILOR (1968) daher dem Bereich der Technik-Trainings zuordnen. In der Aus- und Weiterbildung von Operateuren existieren verschiedene Ansätze zur Förderung des Wissens- und Fertigkeitserwerbs. Diese Ansätze werden in Kapitel 4.1 zusammengefasst dargestellt. Da im Fokus dieser Arbeit die Überprüfung von computerbasierten Trainingsstrategien steht, werden in Kapitel 4.2 didaktische Strategien der Multimediapsychologie vorgestellt und diskutiert. Insbesondere werden Aspekte der Visualisierung von Informationen, der Sequenzierung und Strukturierung von Trainingsinhalten, Methoden der Simulation und Exploration sowie Fragen nach Trainingsinhalten berücksichtigt.

4.1 Trainingsansätze in der Praxis

Für die Ausbildung von Operateuren in komplexen Systemen existiert eine große Bandbreite von Trainingssystemen. Operateur-Trainings-Systeme werden in verschiedensten Bereichen zur Ausbildung von Operateuren in sicherheitskritischen Systemen eingesetzt, beispielsweise in Kernkraftwerken (vgl. RODRIGUEZ, 1994) oder in der chemischen Prozessindustrie (JORDAN & WEATHERLY, 2001). Im Rahmen von diesen

Operateur-Trainings-Systemen (OTS) werden häufig Grundoperationen (beispielsweise Verdampfungsprozesse) trainiert, einschließlich von Kenntnissen über die Handhabung notwendiger Prozessperipherie wie Pumpen, Ventilen und Reglern (vgl. URBAS, 1999; JORDAN & WEATHERLY, 2001), die eine Benutzung von technischen Systemen ermöglichen. Trainings-simulatoren als Bestandteile von Operateur-Trainings-Systemen, die den Produktionsprozess mit seinen Dynamiken und möglichen Störungen simulieren, bieten die Möglichkeit, das Bedienpersonal von automatisierten Systemen für die verschiedensten Aufgaben zu trainieren. So weisen SCHAICH und FRIEDRICH (2003, S.47) darauf hin, dass Trainingssimulatoren „[...] die modernsten und effizientesten verfügbaren Werkzeuge zur Schulung von Anlagenfahrern über den gesamten Betriebsbereich der Produktionsanlage“ sind. Früher wurden Trainingssimulatoren häufig nur dann eingesetzt, wenn neue Anlagen oder größere Umbauten einer bereits existierenden Anlage geplant wurden und das Bedienpersonal für neue Aufgaben vorbereitet werden musste. Inzwischen finden sie jedoch auch Einsatz im laufenden Betrieb, um für spezifische Aufgaben zu trainieren, oder um neue Mitarbeiter mit Mentoren gemeinsam zu trainieren und so einen optimalen Wissenstransfer sicherzustellen. URBAS (1999) schlägt für den Anwendungsbereich der chemischen Prozessindustrie ein Vorgehensmodell für den Trainingsaufbau vor, in dem das Training in relativ kleine allgemeingültige und trainierbare Elemente zerlegt wird und diese Trainingsbausteine direkt im Automatisierungssystem implementiert werden. Der Vorteil dieses Vorgehens liegt darin, dass in Zeiten des ungestörten Betriebs die Benutzung des technischen Systems durch den Operateur trainiert und geübt werden kann. Nachteilig für diesen Ansatz ist, dass die isolierte Betrachtung einzelner Elemente in Trainings bei der Übertragung auf das Verhalten des Gesamtsystems als problematisch eingestuft wird. Diesen Nachteil heben beispielsweise Schulungssysteme auf, die Wissen über anlagenweite Regelungskonzepte und -prinzipien vermitteln. Ein üblicher Trainingsablauf für OTS ist in Abbildung 4.1 dargestellt und besteht aus einem Basistraining, einem Störungstraining und einem Refresher-Training. Die in dieser Arbeit entwickelten und empirisch untersuchten Trainingsmodule (vgl. Kap.5) zielen vorwiegend auf das Trainieren der ersten beiden Phasen ab. Sie können allerdings auch im Rahmen von Refresher-Trainings eingesetzt werden.

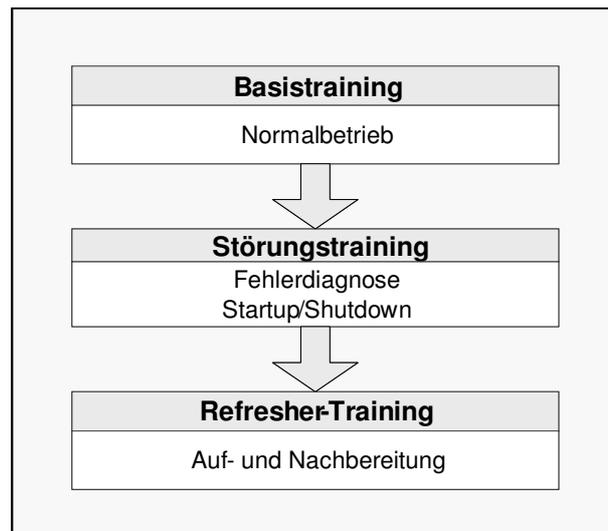


Abbildung 4.1: Trainingsablauf für Operator-Trainingsysteme (OTS) nach Urbas (1999)

Auch wenn in der Aus- und Weiterbildung von Operateuren in der Prozessindustrie nach wie vor die klassischen Ansätze des Frontalunterrichts und des praktischen Trainings vor Ort dominieren (vgl. KROLL & NUBKO, 2005), wird zunehmend eine Vielzahl von unterschiedlichen computerbasierten Trainings in der Ausbildung von Operateuren in sicherheitskritischen Systemen eingesetzt (vgl. URBAS, 1999). Gründe dafür sind die zunehmende Automatisierung und technische Weiterentwicklung technischer Prozesse und Systeme, wodurch ein Bedarf an kontinuierlicher Qualifizierung der Operateure besteht. Unter computerbasierten Trainingsansätzen werden in diesem Zusammenhang Trainingsprogramme verstanden, die die Operateure im Selbststudium durchlaufen können. Computerbasierte Trainings für das Selbststudium bieten darüber hinaus die Möglichkeit des kontinuierlichen Lernens, wie sie von BERGMANN (1999) als eine Funktion von Trainings gefordert wird. Welche Inhalte im Rahmen von computerbasierten Trainings vermittelt werden und welche didaktischen Mittel sich am besten eignen, um mentale Kausalmodelle zu trainieren, wird in den folgenden Abschnitten vorgestellt.

4.2 Anforderungen an das Trainingsdesign

Trainingsansätze aus der Multimedia-Psychologie haben seit den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts eine weite Verbreitung gefunden. Im Zuge der voranschreitenden Technologisierung finden sie Einzug in immer neue Lehr- und Lernbereiche (vgl. BÜRG & MANDL, 2004). Ein Überblick über die grundlegenden Merkmale der Multimedia-Psychologie findet sich beispielsweise bei MAYER und MORENO (2002). In der Multimedia-Psychologie werden verschiedene Repräsentationsformate zur Informationsdarstellung unterschieden. Dies

betrifft die Unterscheidung in bildliche oder textbasierte Darstellungsformen. Je nachdem, welche dieser Formen eingesetzt wird, kann die dargebotene Information über auditorische oder visuelle sensorische Kanäle verarbeitet werden. MORENO und MAYER (1999) formulieren im Rahmen der kognitiven Theorie zum Multimedialernen verschiedene Grundprinzipien zur Präsentation von Lernmaterial. Das *multiple Repräsentationsprinzip* besagt, dass es besser ist, ein Phänomen mit Worten und Bildern zu erklären, anstatt allein mit Worten. Das *Kontiguitätsprinzip* besagt, dass es besser ist, korrespondierende Wörter und Bilder simultan zu präsentieren als getrennt voneinander. Ausgehend von der dualen Codierungstheorie (vgl. PAIVIO, 1986; CLARK & PAIVIO, 1991) wird angenommen, dass visuelles und verbales Material in unterschiedlichen kognitiven Systemen des Menschen verarbeitet wird.

Vor dem Hintergrund des Rahmenwerks zum Erwerb mentaler Kausalmodelle (siehe Kapitel 3.5) werden in den folgenden Abschnitten die für die prospektive Gestaltung von computerbasierten Trainings relevanten Fragen des Trainingsdesigns und der Multimedia-Psychologie differenzierter betrachtet:

(1) Visualisierungsformen von Lernmaterial werden vor dem Hintergrund betrachtet, welche Möglichkeiten sich bieten, topologische Beziehungen zwischen Systemkomponenten darzustellen (vgl. Kap. 4.2.1).

(2) Ansätze zur Sequenzierung und Strukturierung von Lernmaterial werden im Hinblick auf die Möglichkeiten des Einsatzes in computerbasierten Trainings betrachtet (vgl. Kap. 4.2.2).

(3) Studien zum Einsatz von Mentaler Simulation werden vor dem Hintergrund diskutiert, welche Möglichkeiten sich bieten, den Envisioning-Prozess im Rahmen von computerbasierten Trainings zu unterstützen (vgl. Kap. 4.2.3).

(4) Ansätze zur Betrachtung des Einflusses von *Systemexploration* werden im Hinblick auf die Möglichkeiten des Einsatzes in computerbasierten Trainings vorgestellt (vgl. Kap. 4.2.4).

(5) Und schließlich werden spezifische *Trainingsinhalte* für Operateur-Tätigkeiten vorgestellt, für die Lernende in computerbasierten Trainings qualifiziert werden sollen (vgl. Kap. 4.2.5).

4.2.1 Visualisierung als Trainingswerkzeug

Eine grundlegende Frage im Zusammenhang mit dem Nutzen von Visualisierung gegenüber rein textbasierten Trainings besteht darin, ob die Anreicherung des Textes durch die Visualisierung der Lerninhalte Vorteile für den Lernenden in der Qualität seines Wissenserwerbs bietet. Beispielsweise lässt sich die Aussage „Wenn die Temperatur steigt, dann steigt der Druck“ ebenfalls bildlich darstellen. Abbildung 4.2 zeigt ein Beispiel für die Visualisierung der Beziehung zwischen Temperatur und Druck. Der Einfluss der Temperatur auf den Druck ist durch einen Pfeil sowie die Kennzeichnung eines Pluszeichens dargestellt.



Abbildung 4.2: Beispiel für die Visualisierung eines textbasierten Lernmaterials

So weisen CUEVAS et al. (2004) auf die Notwendigkeit hin, Strategien zur Wissensvermittlung in computerbasierte Trainingskonzepte zu integrieren, wenn Novizen an neue Aufgaben oder Systeme herangeführt werden. Sie konnten in Studien zur Untersuchung von Diagrammen als Erweiterung von Displays einen Vorteil sowohl für den Wissenserwerb als auch für höhere organisationale Aktivitäten wie die Wissensanwendung bei Transferaufgaben zeigen (vgl. auch FIORE, CUEVAS & OSER, 2003).

Multimediapsychologische Forschungsansätze zur Visualisierung von Lernmaterial beschäftigen sich mit Fragen der besten Art der Darstellung der Visualisierungen sowie mit Fragen der Integration von Bild- und Textmaterial (vgl. SWELLER, 2002; SCHNOTZ, 2002). SCHNOTZ (2002) beruft sich auf die Unterscheidung von PEIRCE (1906), in der Text- und Bildmaterial vor dem Hintergrund unterschieden werden, dass sie auf unterschiedlichen Zeichensystemen basieren und daher auch unterschiedlichen Repräsentationen zuzuordnen sind. Während Wörter, d.h. auch geschriebener Text, der Kategorie der Symbole und somit der beschreibenden Repräsentationen zuordenbar sind, lassen sich Visualisierungen der Kategorie der Icons und somit der veranschaulichenden Repräsentationen zuordnen. Wissenskarten und Graphenpräsentationen lassen sich ebenfalls der Kategorie der Icons zuordnen. HASEBROOK (1995) betont ebenfalls die Notwendigkeit, bei der Integration von Bildern in Trainings das Text- und Bildmaterial eng miteinander zu verzahnen, da dies die grundlegende

Voraussetzung dafür schafft, dass Bilder einen Vorteil gegenüber einer rein textbasierten Präsentationsform haben können. Je nach zu vermittelndem Wissensinhalt können Text und Bild unterschiedliche Vorteile liefern (vgl. SCHNOTZ, 2002). So ist es vergleichsweise einfacher, in textueller Form eine Verneinung auszudrücken als in bildlicher Form. Auf der anderen Seite bieten bildliche Darstellungen die Möglichkeit, einen komplexen Sachverhalt auf einen Blick zusammenzufassen. Je nach zu vermittelnder Information sollten also die Vorteile der beiden Repräsentationsformen berücksichtigt werden. SCHNOTZ und BANNERT (2003) verglichen die Auswirkungen von textbasierten Trainings und Trainings mit Visualisierung. Sie fanden heraus, dass die Struktur des verwendeten Bildmaterials einen entscheidenden Einfluss auf die Struktur des erworbenen mentalen Modells hat. Die Vorgabe von Bildern ist nicht immer förderlich für den Wissenserwerb. Vielmehr kommt es entscheidend darauf an, inwieweit die Bilder der zu lernenden Aufgabe angemessen sind. Unangemessene Bilder hingegen können mit der mentalen Modellbildung interferieren und somit zu einem schlechteren Wissenserwerb führen.

CARNEY und LEVIN (2002) unterscheiden vier Varianten der Kombination von Visualisierung und Textbausteinen: (1) repräsentationale Bilder, welche den Text beschreiben bzw. überlappen, (2) organisationale Bilder, die einen strukturellen Rahmen für den Textinhalt bieten sowie (3) interpretationale Bilder und (4) transformationale Bilder. LARKIN und SIMON (1987) fassen die generellen Vorteile der Visualisierung von Informationen für das Verstehen des Lernenden dahingehend zusammen, dass durch die Veranschaulichung anhand von Bildern das Verständnis über relevante Objekteigenschaften und Objektbeziehungen unterstützt wird und somit Problemlösungen vereinfacht werden.

Eine weitere zentrale Frage im Zusammenhang mit der Visualisierung von Lernmaterial besteht darin, auf welche Art und Weise das Lernmaterial visualisiert werden sollte. SCHNOTZ (2002) weist auf die Notwendigkeit hin, die Visualisierungen derart zu gestalten, dass sie mit visuellen Wahrnehmungsfunktionen und mit dem kognitiven System angemessen interagieren. Im Rahmen der Gestaltung von Trainings interessiert in diesem Zusammenhang die Frage, ob bildliches Material statisch oder dynamisch präsentiert werden sollte. Der Vorteil von statischen Bildern als Trainingsmaterial konnte in vielen Untersuchungen nachgewiesen werden. Eine Übersicht über bisherige Befunde und Richtlinien für die Gestaltung von Visualisierungen finden sich beispielsweise bei CARNEY und LEVIN (2002). LEVIN, ANGLIN UND CARNEY (1987) konnten zeigen, dass statische bildliche Präsentationen das unmittelbare und spätere Erinnern von Fakten im zugehörigen Text fördern. Ebenso konnte für

den Bereich der Problemlösefähigkeiten gezeigt werden, dass Diagramme und graphische Repräsentationen den Erwerb von naturwissenschaftlichen Gesetzmäßigkeiten unterstützen (vgl. SHAH & HOFFNER, 2002; LARKIN & SIMON, 1987).

Animationen sind dynamische Visualisierungen. Sie geben sowohl Informationen über den aktuellen Status von Objekten als auch über Veränderungen von Objekten und ihrer Position im zeitlichen Verlauf. In vielen Untersuchungen konnte der positive Einfluss von Animationen auf das Lernen von abstrakten Inhalten wie mathematischen Regeln oder Algorithmen gezeigt werden (z.B. CATRAMBONE & SEAY, 2002). Im Zusammenhang mit Animationen wird vor allem auf ihren Vorteil der Anregung zur Exploration des Lernmaterials hingewiesen. Allerdings ist der Einsatz von Animationen nicht unkritisch zu sehen. Probleme treten beispielsweise auf, wenn der Lernende die Animation nicht korrekt zu nutzen weiß oder kann. So konnten PANE, CORBETT und JOHN (1996) zeigen, dass Lernende durch ein falsches Anwenden des animierten Lernmaterials wichtige Informationen im Rahmen des Trainings nicht erhielten. Sie untersuchten in einer Studie den Einfluss von Animationen einerseits und computerbasierten Filmsequenzen andererseits auf den deklarativen Wissenserwerb im Rahmen des Verstehens von biologischen zeitdynamischen Prozessen. Ein textbasiertes Training mit statischen Bildern diente als Kontrollbedingung. Die Analyse der Wissensdaten ergab keine Unterschiede zwischen der Kontrollbedingung und dem Animations-training und nur eine gering bessere Leistung der Lernenden mit Animation gegenüber den zwei anderen Gruppen. Die Autoren führen den Mangel an Unterschieden unter anderem darauf zurück, dass die Lernenden nur sehr selten Gebrauch von dem Angebot an Simulationen bzw. Animationen machten. Selbst sehr hoch motivierte Lerner verwendeten nur zu einem sehr geringen Anteil das zusätzliche Informationsangebot. Auch LOWE (1999) weist auf die Gefahr hin, dass die relevanten Bestandteile einer Animation nicht genügend beachtet werden und die Aufmerksamkeit stattdessen auf irrelevante Distraktoren gelenkt wird. Ein weiterer Nachteil animierter Visualisierungen liegt darin begründet, dass sie zu einer passiveren Verarbeitung des Lernmaterials anregen können, die eine tiefer gehende Verarbeitung des Lernmaterials verringert (vgl. PALMITER & EKERTON, 1993).

SCHEITER, GERJETS und CATRAMBONE (2006) untersuchten den Einfluss verschiedener computerbasierter Visualisierungen auf Lernzeiten sowie den Erwerb von Problemlösefähigkeiten mathematischer Probleme der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Vier Versionen von Trainings wurden eingesetzt: ein rein textbasiertes Training, ein textbasiertes Training in Kombination mit der Anleitung zur mentalen Simulation sowie statische Bilder und

animierte Bilder. Analysen der Performanzergebnisse sowie der Lernzeiten zeigen für die Bearbeitung isomorpher Probleme, dass sowohl statische Bilder als auch die Anleitung zur mentalen Simulation einen positiven Einfluss auf den Fähigkeitserwerb haben. Animierte Bilder hingegen führten sowohl zu verlängerten Lernzeiten als auch zu geringen Einbußen in der Lernleistung. Bei der Bearbeitung neuartiger Probleme zeigten sich allerdings keine Unterschiede in der Leistung. Ferner fanden SCHEITER et al. (2006) heraus, dass im Gegensatz zur textbasierten Version als Baseline nur der häufige Gebrauch von statischen Bildern eine bessere Leistung hervorbrachte, in allen weiteren Bedingungen ergab sich eine niedrigere Performanz als die der Baseline-Gruppe.

DUTKE (1999) argumentiert, dass letztlich jeder Lernprozess internal motiviert sein muss, um zum Erfolg zu gelangen, und letztendlich kann jede Lernform als selbstgesteuertes Lernen aufgefasst werden. Die Frage, die sich dabei allerdings stellt, ist, inwiefern diese internen Lernprozesse von externalen Bedingungen beeinflusst werden können und wie diese externalen Bedingungen gestaltet sein müssen, um internale Lernprozesse anzustoßen. Eine Möglichkeit bieten nach DUTKE (1999) die visuell-räumlichen Gestaltungsmittel in instruktionspsychologischen Ansätzen, sowohl von Interfaces als auch von Trainingsumgebungen.

MAYER (1989) gibt vier hilfreiche Bedingungen zur Gestaltung und Integration von Text- und Bildinformation an: (1) der Text muss das Ursache-Wirkungssystem beschreiben, (2) die Bilder müssen den Prozess oder das System anschaulich darstellen (3) es müssen angemessene Erfolgsmessungen eingesetzt werden und (4) die Lerner müssen in der Domäne unerfahren sein. Aus den berichteten Studien wird ersichtlich, dass durch den Einsatz von Bildern generell ein Vorteil gegenüber rein textbasierten Trainings erreicht werden kann. Unabdingbare Voraussetzung für einen positiven Nutzen ist zusätzlich, dass die Lernenden dazu angehalten werden, sich aktiv mit der bildlichen Information auseinandersetzen. Ferner sollten bildliche Informationen nach dem Kohärenzprinzip gestaltet werden und möglichst wenig irrelevante Informationen beinhalten. Die Ergebnisse der berichteten Studien weisen auf die Notwendigkeit hin, den Lernenden durch die Gestaltung des Trainings dazu anzuhalten, sich aktiv mit dem Lernmaterial (und zwar sowohl dem textbasierten als auch dem bildlichen) auseinanderzusetzen. Dies kann beispielsweise durch ein höheres Ausmaß an Lernerbeteiligung erreicht werden, indem der Lernende interaktive Schaltflächen aufrufen muss, um an notwendige Informationen über den Lerninhalt zu gelangen und indem gleichzeitig vom System kontrolliert wird, dass alle relevanten Informationen eines Lernaspekts

abgerufen werden müssen, bevor die Informationen eines weiteren Aspektes abgerufen werden können.

4.2.2 Sequenzierung von Lernmaterial und Lernerbeteiligung

Ein weiterer Aspekt im Zusammenhang mit computerbasierten Trainingsstrategien betrifft die Sequenzierung und Strukturierung des Lernmaterials sowie Fragen der Lernerbeteiligung. Dies betrifft zum einen Fragen, in welcher Reihenfolge und Struktur die Trainingsinhalte dem Lernenden präsentiert werden sollten. Zum anderen werden hier Fragen des Ausmaßes sowie der Wirkung von Lernerbeteiligung bei der Auswahl an Lerninhalten für den Erfolg des Wissenserwerbs diskutiert. Generell wird davon ausgegangen, dass Trainingsformen mit einem höheren Grad an Lernerbeteiligung zu einer Anpassung an individuelle Unterschiede (wie beispielsweise das Lesetempo) führen.

WEIDENMANN, PAECHTER und HARTMANNSTRUBER (1998) untersuchten die Strukturierung und Sequenzierung von Lernmaterialien im Zusammenhang mit computerbasierten Infografiken (vgl. MAYER, 2001). Die zentrale Frage ihrer Untersuchung bestand darin, in welcher Anordnung Text- und Bildinformationen am besten präsentiert und portioniert werden sollten, um den Wissenserwerb optimal zu unterstützen. Sie untersuchten drei Varianten der Sequenzierung und Strukturierung. (a) Top-down- Vorgehen: dieses wurde in enger Anlehnung an die Elaborationstheorie von REIGELUTH (1992) entwickelt. In dessen Verlauf entwickelt sich die Informationsdarstellung ausgehend von Überblicksinformationen bis hin zu Detailinformationen. Die dabei verwendete Strategie bezeichnen WEIDENMANN et al. (1998) in Anlehnung an REIGELUTH (1987) als *Zooming-Technik*. Zu Beginn wird die Gesamtinformation über die Lerninhalte präsentiert, im nächsten Schritt wird in Details der Lerninhalte reingezoomt, um dann wieder zu einer Übersicht über die Gesamtinformation zurückzukommen und in einem nächsten Schritt wieder in das nächste Details zu zoomen. Das Top-down- Vorgehen kommt einer absteigenden Sequenzierung gleich. (b) Bottom-up-Vorgehen (bzw. aufsteigende Sequenzierung): die Darstellung von bildlicher Information beginnt mit einem Detail, im Verlauf des Trainings werden immer mehr Details zugefügt bis die Gesamtinformation zusammengetragen ist (vgl. WEIDENMANN et al., 1998). (c) Standbild-Informationsdarstellung: bei diesem Vorgehen wird ein Prozess als Standbild gezeigt und der Lernende kann selbst entscheiden, wie die Informationen sequenziell zu verarbeiten sind. Die Untersuchung der Wissensdaten zeigt keine Unterschiede zwischen den Präsentationsformen in Bezug auf den Wissenserwerb.

Für die vorliegende Arbeit ergibt sich aus diesen Ergebnissen der Anspruch zu klären, wie die Visualisierung von Prozesstopologien strukturiert und sequenziert werden sollte und ob die Art der Sequenzierung (bspw. top-down oder bottom-up) in Bezug auf diese eher abstrakten Visualisierungen zu Unterschieden führt. Eine weitere grundlegende Frage im Rahmen von computerbasierten Trainingsprogrammen betrifft das Ausmaß beziehungsweise die Verteilung an Lernerkontrolle oder Systemkontrolle über die Verwendung des Lernmaterials. Unter Lernerkontrolle werden allgemein solche Strategien zusammengefasst, die dem Lernenden unter anderem Entscheidungen über die Lernbeispiele, die Sequenzierung von Lerninhalten, die Geschwindigkeit des Trainings oder den Anteil an Praxisbeispielen ermöglichen (vgl. LEE & LEE, 1991). Systemkontrolle bedeutet dementsprechend, dass ein Computerprogramm diese Entscheidungen für den Lernenden übernimmt. Eine in der Multimediaforschung weit verbreitete Annahme besagt, dass Lernende selbst am ehesten ihren Lernbedarf einzuschätzen in der Lage sind. Experimentelle Studien zur Belegung dieser Aussage weisen jedoch auf widersprüchliche Befunde hin. So konnte in einigen Studien ein deutlicher Vorteil von Lernerkontrollstrategien nachgewiesen werden (vgl. GRAY, 1987; ROSS & RAKOW, 1981). In anderen Studien hingegen wurde die Überlegenheit von Systemkontrollstrategien nachgewiesen (vgl. TENNYSON, PARK & CHRISTENSEN, 1985; YOUNG, 1996). LEE und LEE (1991) verglichen in einem Trainingsexperiment zu chemischen Problemstellungen den Einfluss von Lernerkontrollstrategien mit Programmkontrollstrategien auf Wissenserwerbs- und Wissensabrufphasen in Abhängigkeit vom Vorwissen der Lerner. Sie fanden heraus, dass der Vorteil von Lernerkontrollstrategien abhängig vom Vorwissen des Lerners ausgeprägt ist. Die Lerner mit Lernerkontrolle waren im Gegensatz zu den Lernern mit Programmkontrolle schlechter bei der Aufgabenbearbeitung in der Wissenserwerbsphase. Die Lerner mit Programmkontrolle zeigten sowohl bei der Bearbeitung von Wissenserwerbs- als auch bei Wissensabrufphasen solide Leistungen. Für das niedrige Level des Domänenwissens waren Lernerkontrollstrategien denen der Programmkontrolle überlegen, während diese Unterschiede bei den höheren Wissensniveaus verschwanden. Die Rolle des Domänenwissens ist ebenfalls für die Lernerkontrollstrategien bedeutsamer als für Programmkontrollstrategien. LEE und LEE (1991, S.497) schlussfolgern: „the most differential effect of CAL treatments is most pronounced when learners' knowledge base is lacking“. GAY (1987) fand ebenfalls heraus, dass Studenten mit größerem Vorwissen gleich gut mit Lerner- und Programmkontrollstrategien lernen konnten. Die Erkenntnisse zur Sequenzierung und Strukturierung von Lernmaterial lassen sich dahingehend zusammenfassen, dass im Hinblick auf die

Visualisierung von Lerninhalten überprüft werden muss, inwieweit in der Kombination der Visualisierung mit Systemkontrolle und Lernerbeteiligung differentielle Einflüsse auf den Wissenserwerb existieren.

4.2.3 Anleitung zu mentaler Simulation als Trainingswerkzeug

DE KLEER und BROWN (1982) befassen sich mit der mentalen Simulation im Rahmen von Erklärungen von Abweichungen im Normalverhalten von Geräten. Die Autoren beschreiben eine besondere Art des qualitativen Schlussfolgerns, die sie als *Envisioning* bezeichnen. Sie gehen davon aus, dass anhand des *Envisionings* kausale Erklärungen für Geräteverhalten entstehen können. DE KLEER und BROWN (1982) befassen sich, ausgehend von theoretischen Überlegungen mit der grundlegenden Frage, welche Vorstellung von Kausalität das Geräteverhalten adäquat beschreiben kann. *Envisioning* ist eine Form des Problemlösens, in dessen Verlauf Kausalerklärungen über das Verhalten eines physikalischen Systems gemacht werden, ausgehend davon, wie sich Störungen im System fortpflanzen. DE KLEER und BROWN (1982) weisen darauf hin, dass *Envisioning* nicht mit qualitativer Simulation gleichgesetzt werden darf, sondern vielmehr ist die qualitative Simulation nur die einfachste Form von *Envisioning*. In komplexeren Situationen besteht das *Envisioning* aus dem Vorstellen und Manipulieren von Vermutungen darüber, wie das Gerät kausal funktioniert. Die Autoren erklären den Prozess des *Envisionings* anhand eines Druckregulators:

„An increase in source (A) pressure increases the pressure drop across the valve (B). Since the flow through the valves is proportional to the pressure across it, the flow through the valve also increases. This increased flow will increase the pressure at the load (C). However, this increased pressure is sensed by (D) causing the diaphragm (E) to move downward against the spring pressure. The diaphragm is mechanically connected to the valve, so the downward movement of the diaphragm will tend to close the valve, thereby pinching off the valve. Because the flow is now restricted the output pressure will rise much less than it otherwise would have and thus remain approximately constant.” (p.2).

DE KLEER und BROWN (1982) vermuten, dass eine Sammlung von abstrakten Beschreibungen aller möglichen Zustände von den Systemkomponenten für das *Envisioning* verfügbar gemacht werden kann. Die Gerätetopologie als Ausgangspunkt für das *Envisioning* wurde bereits in Kapitel 3.2.4 vorgestellt. Das kausale Schlussfolgern und somit das *Envisioning* besteht darin, die Funktionsweise des Geräts von seiner Struktur (also der Gerätetopologie)

ausgehend abzuleiten. Ein häufiger Ausgangspunkt dafür sind auftretende Abweichungen vom Normalverhalten des Geräts. DE KLEER und BROWN spezifizieren dementsprechend „*Envisioning, in part, analyzes behavior in terms of qualitative disturbances from equilibrium*“ (1982, S.5). Durch das Envisioning muss einerseits bestimmt werden, welche Zustände das Gesamtgerät grundsätzlich annehmen kann. Ferner müssen das kausale Verhalten des Geräts in jedem dieser Zustände sowie die möglichen Übergänge zwischen den Zuständen bestimmt werden. DE KLEER und BROWN (1982) gehen davon aus, dass die durch das Envisioning produzierten Erklärungen auf einer relativ simplen Auffassung von Kausalität beruhen. Sie bezeichnen diese Auffassung als „*naive mechanism*“ (1982, S.7). Diese Auffassung kann mit einer Kausalkette verglichen werden. Die Effekte von Komponenten werden jeweils von vorausgehenden Effekten benachbarter Komponenten beeinflusst wahrgenommen. Kausalität in diesem Sinne betrifft die Veränderung des Komponentenverhaltens. Sie erklärt nicht, warum die Komponenten sich in einer bestimmten Art verhalten, sondern vielmehr, wie die Veränderungen im Komponentenverhalten zustande kommen.

Die mentale Simulation als Trainingswerkzeug wird ebenfalls im Rahmen von computerbasierten Trainings eingesetzt. SCHEITER et al. (2006) verwenden den Begriff der mentalen Simulation im Sinne der Visualisierung als Trainingsstrategie (vgl. Kap. 4.2.1). Sie instruierten Lernende, sich die textbasierten Inhalte des Lernmaterials mental vorzustellen. Ergebnisse zeigen einen positiven Einfluss auf den Fähigkeitserwerb durch die Anleitung zur mentalen Simulation. In einer Untersuchung von HODES (1992) wurden die Effektivität von Anleitungen zur mentalen Simulation und Visualisierungen im Hinblick auf Faktenerinnern und Verständnis miteinander verglichen. Die Ergebnisse zeigen allerdings, dass obwohl beide Trainingsstrategien einen positiven Einfluss auf den Lernerfolg hatten, die Vorgabe von externen Visualisierungen dennoch zu einer besseren Leistung führte als die Anleitung zur mentalen Simulation. GINNS, CHANDLER und SWELLER (2003) konnten zeigen, dass mentales Simulieren im Vergleich zu einem textbasiertem Training nur für diejenigen Lerner erfolgreicher verlief, die eindeutig mehr Vorwissen in der betreffenden Domäne besaßen. Die Autoren begründen dies mit der Annahme, dass für das erfolgreiche Simulieren einer Prozedur oder eines Konzeptes alle relevanten Elemente simultan im Arbeitsgedächtnis verarbeitet werden müssen, und dass dies vielleicht erst dann möglich sei, wenn bereits ein Schema herausgebildet wurde.

Schlussfolgernd lassen sich diese Ergebnisse dahin gehend zusammenfassen, dass im Vorfeld des Einsatzes von mentaler Simulation sichergestellt werden sollte, dass der

Lernende bereits Vorwissen über die zu simulierenden Lerninhalte aufgebaut hat. Die Anleitung von Envisioning-Prozessen sollte also erst in späteren Phasen des Trainings zum Einsatz kommen und nicht bereits zu Beginn eines Trainings geschehen. In Kapitel 2.2 wurde die Fähigkeit des Lernenden beschrieben, auf der Grundlage seines mentalen Modells die Zusammenhänge zwischen den Komponenten eines Systems mental simulieren zu können (*Envisioning*). Allerdings wurde in diesem Zusammenhang ebenfalls diskutiert, dass das entstehende mentale Modell nicht notwendigerweise korrekt und vollständig die tatsächlichen Begebenheiten des Systemverhaltens widerspiegelt, sondern vielmehr abstrakt und in reduzierter Form die Ursache-Wirkungszusammenhänge repräsentiert. Dies erfordert, dass der Lernende das Wissen, das er durch die mentale Simulation erschlossen und konsolidiert hat, durch die direkte Interaktion mit dem betreffenden System festigt, bestätigt, verwirft oder vervollständigt. DUTKE (1999) beschreibt die Systeminteraktion als explorierendes Handeln, als „Hypothesengenerierung im mentalen Modell und Hypothesenprüfung im Original“ (S.147) und fasst als Forderung zusammen: „Die Entwicklung kognitiver Simulationsfähigkeit erfordert also den Realitätstest“ (S. 147). Der folgende Abschnitt widmet sich dem Trainingswerkzeug der Exploration und stellt verschiedene Methoden der Anleitung im Rahmen von Trainings vor.

4.2.4 Systeminteraktion als Trainingswerkzeug

Aus den theoretischen Erläuterungen der vergangenen Abschnitte wurde bereits die bedeutsame Rolle der aktiven Auseinandersetzung mit dem Lernmaterial seitens des Lerners ersichtlich. Der folgende Abschnitt befasst sich mit der Systeminteraktion sowie der Exploration der Trainingsmaterialien als einem notwendigen Werkzeug zur Anregung des aktiven Lernens.

LARKIN (1983) konnte mit experimentellen Untersuchungen bei Schülern zeigen, dass diese bei der Bearbeitung komplexer Sachverhalte in einem ersten Schritt mentale Modelle bilden, die vorwiegend die äußerlichen Eigenschaften eines neu zu betrachtenden Systems widerspiegeln. Im Zuge der Vertiefung ihres Wissens, d.h. durch die Interaktion mit dem Lerngegenstand, erweitern sie jedoch ihr mentales Modell um die strukturellen und funktionalen Eigenschaften des komplexen Sachverhalts.

In grundlegenden Experimenten zur Mensch-Maschine-Interaktion im Konsumgüterbereich wird der Einfluss der Systeminteraktion auf den mentalen Modellerwerb untersucht.

DUTKE (1988) konnte in einem Experiment zur Bedienung eines Telekommunikationsgerätes nachweisen, dass durch explorierendes Lernen zwar mehr Fehler während des Lernprozesses entstehen, diese allerdings nicht zwangsläufig dazu führen, dass die Lernenden insgesamt schlechteres Wissen aufbauen. Vielmehr lernen die Lernenden, sich selbst weiterzuhelfen. Mit zunehmender Erfahrung testen Lernende die Grenzen ihres Wissens aus.

FRESE et al. (1988) untersuchten das Erlernen eines Textverarbeitungsprogramms. Sie verglichen drei Trainingsvarianten miteinander: (1) Passiv-sequentielle Trainings-Gruppe: Lernende erhalten schriftliche Materialien, in denen Schritt für Schritt die Bedienung erklärt wird, eine Abweichung ist nicht möglich. Es werden keine übergeordneten Funktionsprinzipien erklärt, der Schwerpunkt liegt auf dem auswendig Lernen der vorgegebenen Information. (2) Hierarchische Informations-Gruppe: Lernende haben keinen Einfluss auf die Art und die Abfolge der Lerninhalte. Zusätzlich zu den Schritt für Schritt Anleitungen gab es für diese Gruppe auch Erklärungen von Funktionsprinzipien, Merkhilfen und Diagramme zur Veranschaulichung der Variablenbeziehungen. (3) Hypothesen-Trainings-Gruppe: diese Gruppe lernt anhand von gestellten Aufgaben, ohne schriftliches Erklärungsmaterial. Ihre Aufgabe ist es, Hypothesen über Kommandos und ihre Wirkungen aufzustellen und diese dann zu testen. FRESE et al. (1988) fanden heraus, dass rein sequentiell und passiv Lernende in ihrem Wissenserwerb über das Textverarbeitungsprogramm unterlegen sind. Unterschiede zwischen der hierarchischen Informationsgruppe und den beiden anderen Gruppen sind nicht eindeutig. GREIF und JANIKOWSKI (1987) untersuchten die Auswirkungen von selbstgesteuerten und systemkontrollierten Trainingsstrategien auf den Umgang mit und das Wissen über Computerprogramme. Lerner der Experimentalbedingung erhielten ein Training mit Exploration, in dem sie dazu angehalten werden, aktiv und selbstgesteuert zu lernen. Fehler in der Systeminteraktion waren erlaubt und im Hinblick auf einen positiven Nutzen für den Lernerfolg erwünscht. Lerner der Kontrollbedingung erhielten ein instruktionsbasiertes Training anhand eines üblichen Online-Tutorials, in dem die Reihenfolge der Lernschritte festgelegt und Fehler nicht zulässig waren. GREIF und JANIKOWSKI (1987) fanden heraus, dass Multiple Choice Fragen zum System in beiden Gruppen gleichermaßen zufrieden stellend beantwortet werden konnten, während die Leistung der Explorationsgruppe bei Wissensfragen mit freien Antworten besser als die Leistung der Kontrollgruppe war.

KLUWE (1997) untersuchte in einer Trainingsstudie den differentiellen Einfluss von Systemexploration in der Kombination mit Instruktionlernen. Probanden wurden in die Bestandteile eines komplexen Systems eingewiesen und lernten in 10 Tagen die Bedienung

eines komplexen Systems kennen. Die Kontroll- und Steuerleistung verbesserte sich im Verlauf der Trainingsphase deutlich. Waren die Bedieneingriffe zu Beginn des Trainings noch geprägt von den anfänglichen Stadien des Fähigkeitserwerbs und dementsprechend die Performanz langsam, fehleranfällig und weniger effektiv, wurden diese Fähigkeiten im Verlauf des Trainings immer stärker prozeduralisiert und verbesserten sich signifikant. Die Übung in der Systeminteraktion hatte ebenfalls einen positiven Nutzen für den Wissenserwerb, allerdings nicht für alle möglichen Wissensformen. So konnte im Anschluss an die Sitzungen im Simulator ein positiver Einfluss auf die für die Kontrolle notwendigen Wissensarten (wie beispielsweise das Interface-Wissen) gezeigt werden. Dieses Ergebnis weist auf einen weiteren zentralen Aspekt hin, der im Zusammenhang mit der Gestaltung von Trainings für komplexe Systeme betrachtet werden muss. Ebenso wie sich im Verlauf eines Trainings unterschiedliche Wissensarten entwickeln, werden die Lernenden auch für verschiedene Tätigkeiten qualifiziert. Ein weiterer zentraler Aspekt bei der Erforschung von Trainingsstrategien für die Bedienung komplexer Systeme besteht daher in der Frage, welche Inhalte im Rahmen von Trainings vermittelt werden sollten. Der folgende Abschnitt stellt Ansätze zur Bestimmung von Trainingsinhalten vor.

4.2.5 Spezielle Trainingsinhalte

Das Ziel der Ausbildung von Operateuren in komplexen Systemen besteht in der Qualifizierung für die verschiedenen Tätigkeitsschwerpunkte. Der Transfer des im Training gelernten Wissens auf neue Aufgaben und Gebiete ist von großer Bedeutung bei der Untersuchung von Trainingsstrategien, insbesondere bei Studien mit Simulationen von realen technischen Prozessen, in denen die Übertragbarkeit in ein reales Setting sichergestellt werden soll. Idealerweise werden Operateure dahin gehend trainiert, dass sie sowohl über ein mentales Kausalmodell der normalen Betriebszustände als auch über ein mentales Kausalmodell möglicher Fehlerzustände verfügen, um in den verschiedenen Situationen adäquat reagieren zu können. Welches Wissen aber ist für den Operateur notwendig, um eine Anlage zu steuern? Im Hinblick auf die Unterscheidung von Operateurtätigkeiten (vgl. Kap. 2) lassen sich Trainingsansätze zur Vermittlung von Kontroll- und Überwachungstätigkeiten von Trainingsansätzen zur Vermittlung von Fehlerdiagnose- und Fehlermanagementtätigkeiten unterscheiden.

4.2.5.1 Trainingsansätze für Kontroll- und Überwachungstätigkeiten

URBAS (1999) weist für die betriebliche Praxis auf die Notwendigkeit hin, den manuellen Betrieb an Simulatoren zu trainieren. In Trainings für die Bedienung komplexer Systeme können nicht alle im Arbeitsalltag auftretenden Ereignisse trainiert werden. Daher ist es von großer Bedeutung, dass die Operateure bereits im Training die Fähigkeit erwerben, ihr Wissen eigenständig auf neue Situationen anzuwenden. Eine Möglichkeit, dies sicherzustellen, bietet der Einsatz von systematischen Explorationsphasen während des Trainings. Dadurch wird die aktive Entwicklung eines mentalen Modells gefördert (vgl. GICK & HOLOYAK, 1987). Ebenso, wie sich in der Betrachtung der Wissensvoraussetzungen diskutieren lässt, inwieweit komplexe Systeme auf der Grundlage einer relativ simplen Wissensbasis steuerbar sind, wird in Trainingsexperimenten der Frage nachgegangen, ob sich die Operateur-Trainings mit einer Vermittlung von Input-Output-Strategien beschäftigen sollten oder ob vielmehr grundlegendes Systemwissen sowie zugrunde liegende naturwissenschaftliche Gesetzmäßigkeiten trainiert werden sollten. LANDEWEERD, SEEGER und PRAAGMAN (1981) konnten bei einer Gegenüberstellung eines Input-Output-Trainings und eines Trainings mit einer Einweisung in zugrunde liegende Systemdynamik zeigen, dass diejenigen Operateure, die im Vorfeld eine Einweisung in die Prozessdynamiken eines chemischen Prozesses erhielten, den Prozess um einiges schneller zu kontrollieren lernten. Die erfolgreiche Prozesssteuerung basierte auf einem Verständnis der kausalen Ablaufsteuerung in der Anlage. KRAGT und LANDEWEERD (1974) konnten zeigen, dass ein Verständnis der generellen wissenschaftlichen Prinzipien, die dem Prozess unterliegen, nicht dazu geführt hat, dass Operateure das System besser kontrollieren konnten. Andere Studien zeigten ebenfalls, dass ein Training unter Berufung auf generelle Theorien nicht dazu geführt hat, die Aufgaben im Normalzustand besser auszuführen (PATRICK, HAINES, MUNLEY & WALLACE, 1989).

4.2.5.2 Trainingsansätze für Fehlerdiagnose und Fehlermanagementtätigkeiten

BAINBRIDGE (1983) weist auf eine generelle Problematik beim Einsatz von Simulatoren für die Vorbereitung von Operateuren auf die Praxis in der Leitwarte hin: Unbekannte Fehler können nicht simuliert werden. Das Systemverhalten ist für Fehler unbekannt, die zwar vorhergesagt werden können, die aber noch nicht erfahren wurden. Dies hat zur Folge, dass sich Trainings eher mit generellen Strategien befassen müssen als mit spezifischen Antworten auf Teilprobleme bei der Steuerung von komplexen Systemen. Als Lösung dieses Dilemmas schlägt BAINBRIDGE (1983) vor, Operateure so zu trainieren, dass sie mit gegebenen

Informationen verschiedene Problemlöseaufgaben zu bewältigen in der Lage sind. MORRIS und ROUSE (1985) unterscheiden vier Trainingsansätze für Fehlerdiagnosetätigkeiten: (1) das Vermitteln von theoretischen Grundlagen über das System, (2) das Vermitteln von Problemlösestrategien, (3) das angeleitete Anwenden von Systemwissen sowie (4) das angeleitete Nutzen von Regeln zur Systeminteraktion. In einer experimentellen Überprüfung konnte gezeigt werden, dass diese Trainingsansätze jeweils unterschiedlichen Einfluss auf das damit erworbene Wissen hervorbrachten. Allerdings fanden die Autoren keine unterschiedlichen Einflüsse auf die Leistung in der Systemsteuerung. Es kann also nicht davon ausgegangen werden, dass einer dieser Ansätze differenzierte Vorteile für die Vermittlung von Systeminteraktionsfähigkeiten bietet. Diese Trainingsansätze sollten in der Trainingspraxis daher nicht isoliert für sich stehen, sondern auf das jeweilige Trainingsziel abgestimmt und kombiniert eingesetzt werden. PUTZ-OSTERLOH, BOTT und HOUBEN (1988) fanden heraus, dass Probanden, die die Steuerung eines realitätsnahen Systems unter der Vorgabe der Analyse und Prognose von instabilen Systementwicklungen lernen, bessere Ergebnisse in der Leistung der Systemsteuerung erzielen als diejenigen Probanden, die die Steuerung mit der Vorgabe von stabilen Systementwicklungen lernen. Sie fanden heraus, dass eine entscheidende Determinante des Erfolgs das strategische Wissen darüber ist, wie Kausalwissen in Handlungen umgesetzt werden kann.

Der Vorteil des Verständnisses kausaler Systemzusammenhänge für die Fehlerdiagnose- und Fehlermanagementleistung wird ebenfalls in Studien zur Unterscheidung zwischen systemorientierten und prozedurorientierten Trainings betrachtet. SAUER, WASTELL und HOCKEY (2000) verglichen systemorientierte und prozedurorientierte Trainingsstrategien im Hinblick auf ihren Einfluss auf die Leistung bei Fehlerdiagnose- und Fehlermanagementtätigkeiten in der Interaktion mit der Simulation eines komplexen Systems. Das prozedurorientierte Training umfasste die Vorgabe eines Handbuchs über Vorgehensweisen zur Fehlerdiagnose und zum Fehlermanagement zusammen mit dem Hinweis, dass dies der effektivste Weg sei, Fehler zu beheben. Weitere Informationen zu den Systemkomponenten sowie den Zusammenhängen zwischen den Komponenten wurden nicht gegeben. Im Gegensatz dazu erhielten die Probanden des systemorientierten Trainings zusätzlich zu dem Handbuch Informationen über die Systemkomponenten und über mögliche Fehlerarten. Die Probanden dieser Gruppe wurden dazu angehalten, sich das Systemverhalten selbständig zu erklären. Ergebnisse zeigen nur geringe Unterschiede dieser zwei Trainingsvarianten in der Leistung bei Fehlerdiagnose- und Fehlermanagementtätigkeiten sowie in dem explizierbaren Wissen

über die Systemzusammenhänge. KLUWE (1997) fand in einer Untersuchung zum Einfluss von Instruktionlernen in Kombination mit Übungen am Simulator heraus, dass die erfolgreiche Prozesskontrolle mit substantiellem Wissen über das System einhergeht und darüber, wie das System bedient werden muss.

Für die vorliegende Arbeit lassen sich die Ergebnisse dieser Studien folgendermaßen zusammenfassen: im Hinblick auf das explizierbare Wissen konnte gezeigt werden, dass Trainingsansätze, die die Vermittlung von Wissen über die grundlegenden Systemzusammenhänge beinhalten, einen positiven Effekt auf den Wissenserwerb haben. Allerdings erscheint es problematisch, differentielle Einflüsse einer speziellen Trainingsstrategie auf die Leistung in der Systeminteraktion nachzuweisen. In jedem Fall scheint eine Kombination der Vorgabe von grundlegenden Informationen über die Systemzusammenhänge und die Bereitstellung der Möglichkeit zur Systeminteraktion eine notwendige Voraussetzung für den Trainingserfolg zu sein.

4.3 Trainingsforschung: Einsatz von Systemsimulationen

Im Rahmen der Trainingsforschung befasst sich eine zentrale Auseinandersetzung damit, ob Trainingskonzepte im realen Arbeitskontext untersucht werden sollten (d.h. im Rahmen von Feldforschungsuntersuchungen) oder ob allgemeine Prinzipien in einem ersten Schritt in kontrollierten Laborumgebungen untersucht und darauf folgend in realen Arbeitssituationen eingesetzt werden können. Ein grundlegendes Problem von Untersuchungen im Feld besteht in der großen Komplexität der Situation und der daraus resultierenden geringen Möglichkeit, die Situationen soweit zu kontrollieren, dass beobachtete Effekte tatsächlich den manipulierten Maßnahmen zugeordnet werden können. Laboruntersuchungen hingegen unterliegen der Beschränkung der Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf reale Arbeitskontexte. In der Mensch-Maschine-Interaktionsforschung werden häufig Simulationen von realen Prozessen in kontrollierten Laboruntersuchungen verwendet, um den Nachteilen von Feld- und Laborstudien entgegen zu wirken. Simulationen von Systemen und Aufgaben stellen aufgrund der relativ guten Kontrollierbarkeit von Komplexität und von Versuchsbedingungen einen brauchbaren Ansatz dar, um Nutzerwissen über technische Systeme zu untersuchen (vgl. GRAY, 2002). FUNKE (1998) bemerkt allerdings auch in Bezug auf Simulationen kritisch an, inwieweit die Situationen im Trainingssimulator auf die reale Welt und somit auch den realen Arbeitskontext übertragbar sind. FUNKE fordert dementsprechend, dass es notwendig ist für gute Szenarien, zeigen zu können, inwieweit in diesen Szenarien vorgegebene

Trainingsziele erreicht wurden. Die meisten der Trainingsszenarien, die entwickelt wurden, unterliegen keinen psychometrischen oder anderen wissenschaftlichen Analysen.

4.3.1 Vorteile und Nachteile des Einsatzes von Mikrowelten

FUNKE (1998) weist in Anlehnung an BAKKEN, GOULD & KIM (1992) auf die verschiedenen Vorteile von computerbasierten Simulationen, im Speziellen auch für die Anwendung im Rahmen von Trainingsuntersuchungen, hin. So erlauben computerbasierte Simulationen die Nachbildung von Szenarien von hoher Komplexität und Dynamik, eine kontinuierliche Erfassung von Daten (z.B. Nutzereingriffe in das System) und dadurch ebenfalls eine zeitökonomische, computerbasierte Auswertung von Logfiles. Durch das Schaffen von standardisierten Szenarien für viele Probanden kann eine gute Vergleichbarkeit der Experimentalsituationen gewährleistet werden. Außerdem bieten viele Simulationen aufgrund ihres Spielecharakters den Vorteil, dass sie zu einer großen Akzeptanz bei den Probanden führen. FUNKE (1998) sieht hier ebenfalls eine erhöhte Motivation der Probanden durch Wettbewerbscharakter der Simulation, wobei dies sicherlich immer noch abhängig von der Beschaffenheit der Simulation bewertet werden muss. Für den Einsatz von Simulationen als Ersatz für reale technische Prozesse beispielsweise bieten sie die Möglichkeit des aktiven und explorierenden Übens: learning by doing ohne Risiko, etwas am System zu beschädigen. Für Trainingsstudien bieten sie zudem den Vorteil der Adaptierbarkeit der Komplexität der Simulation an die jeweiligen Trainingsziele

Ebenso wie es viele Vorteile des Einsatzes von Mikrowelten gibt, dürfen ihre Nachteile nicht vernachlässigt werden. FUNKE (1998) beschreibt ausgewählte Probleme des Einsatzes von Computersimulationen und diskutiert Möglichkeiten, diese abzumildern. Computersimulationen sind häufig so komplex, dass nicht einmal der Entwickler die besten Lösungswege für gegebene Probleme benennen kann. Demzufolge sind bei Szenarien mit nichtlinearen Gleichungen, in denen nicht einmal bestimmt werden kann, was der maximale Skalenwert ist, eigentlich auch nur relative Vergleiche zwischen Werten möglich. Bei Vergleichen von individuellen Ergebnissen entstehen an dieser Stelle Probleme. Als eine Möglichkeit, dem entgegenzuwirken, schlägt FUNKE (1998) den Einsatz von gut definierten Szenarien mit der Vorgabe einer besten Lösung bzw. eines besten Lösungsweges vor. Ein weiteres Problem liegt darin, dass das von den Probanden gezeigte Verhalten in seinem Umfang häufig nicht mit psychologischen Theorien erklärbar ist. Häufig wird bei Mikroweltexperimenten auf Logfiles zurückgegriffen, um die Eingaben der Probanden in das System und die Reaktionen

aus Veränderungen im System aufzuzeichnen. Die aufgezeichneten Daten werden extrahiert, weiter verarbeitet und vorher definierten Leistungsindikatoren zugeordnet. Hier stellt sich verständlicherweise die Frage, ob die richtigen Indikatoren eingesetzt werden, um das angestrebte Zielkriterium sensitiv, valide und reliabel messbar zu machen.

Ferner ist es schwierig, die Computersimulationen im Hinblick auf ihre domänenspezifische Validität zu evaluieren. Dieser Kritikpunkt beschäftigt sich mit dem Umstand, dass mit Computersimulationen häufig angestrebt wird, die Struktur einer bestimmten Domäne widerzuspiegeln. Tatsächlich werden diesem Anspruch allerdings nur wenige Simulationen gerecht, da die meisten Konzerne aufgrund des bestehenden Wettbewerbs ihre konzerninternen Vorgänge nicht öffentlich zugänglich machen. FUNKE (1998) schlägt daher vor, nur solche Simulationen einzusetzen, für die Domänenvalidität nachgewiesen werden konnte.

Häufig ist es schwierig, die Ergebnisse aus Simulationsexperimenten zwischen Versuchspersonen zu vergleichen, da die Situationen aufgrund ihrer Dynamik von Proband zu Proband und von Testsituation zu Testsituation nur schwer vergleichbar sind. Dieser Kritikpunkt bezieht sich besonders auf den Einsatz von freien Simulationen, bei denen die Probanden von ihrem ersten Eingriff in das System an die jeweilige individuelle Dynamik festlegen, die den Verlauf der Testsituation dementsprechend bestimmen wird.

Allerdings ist hier in Abgrenzung zu der von FUNKE (1998) geäußerten Kritik anzumerken, dass nicht bei allen Mikrowelten, die für Untersuchungszwecke eingesetzt werden, von freien Simulationen gesprochen werden kann. Beispielsweise kommen für Trainings- und Ausbildungszwecke ebenfalls Simulationen zum Einsatz, bei denen weniger Freiheitsgrade auf Seiten des Bedieners bestehen, die Dynamik des Systems individuell zu beeinflussen, sondern bei denen es vielmehr darum geht, generelle Fertigkeiten und Strategien wie z.B. die Bedienung von Teilsystemen, das Einüben manueller Kontrollfähigkeiten oder das Anfahren einer Anlage zu untersuchen. Ferner merken WICKENS und HOLLANDS (2000) an, dass Trainingssimulatoren die reale Welt nicht notwendigerweise so realitätsnah wie möglich repräsentieren müssen. So konnte beispielsweise in einer Studie gezeigt werden, dass sehr realitätsnahe Simulatoren nicht zwangsläufig dazu führen, dass mit ihnen besser gelernt wird als mit stark reduzierten Mock-ups (vgl. DRUCKMANN & BJORK, 1994). Außerdem kann es passieren, dass große Ähnlichkeit, wenn sie nicht vollständig ist, zu inkompatiblen Antwortstrategien führen kann. Von vielen Forschern wird daher vorgeschlagen, im Vorfeld zu bestimmen, welche Komponenten des Trainingssystems in großer Ähnlichkeit zum Zielsystem gestaltet werden sollen.

Die oben ausgeführten Vor- und Nachteile des Einsatzes von Mikrowelten im Rahmen von Trainingsexperimenten sollten bei der Gestaltung der Versuchsbedingungen Berücksichtigung finden. Allerdings ist hier kritisch zu dem von FUNKE (1998) geäußerten Anspruch anzumerken, dass der Zweck des Einsatzes von Mikrowelten für Trainingsexperimente in den Vordergrund gerückt werden sollte. Geht es folglich darum, allgemein gültige Prinzipien der Mensch-Maschine-Interaktion in grundlegenden Fragestellungen zu untersuchen, können auch Nachbildungen beziehungsweise reduzierte Versionen von realen Anlagen von großem Nutzen sein, um Interventionen auszutesten, Strategien zu entwickeln oder beispielsweise Teilsysteme zu optimieren. Die in dieser Arbeit entwickelten Trainingsstrategien zielen darauf ab, grundlegende psychologische Theorien zum kausalen Lernen auf den Trainingskontext für komplexe Mensch-Maschine-Interaktion zu übertragen. Dies erfordert den Einsatz von streng kontrollierten Versuchsbedingungen. Da eine Untersuchung im realen Arbeitskontext im Rahmen dieser Arbeit folglich nicht möglich ist, wird auf den Einsatz der Computersimulation AutoCAMS 2.0 (vgl. HOCKEY, WASTELL, & SAUER, 1998; MANZEY et al., 2008) zurückgegriffen, um den Einfluss von Trainingsstrategien auf den Erwerb kausaler Modelle komplexer technischer Systeme zu untersuchen.

4.3.2 Die Simulation AutoCAMS 2.0

Im vorausgehenden Abschnitt wurden Vor- und Nachteile des Einsatzes von Simulationen in der Trainingsforschung diskutiert. Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Simulation AutoCAMS 2.0 eingesetzt, um die entwickelten Trainingskonzepte zu untersuchen. Die Simulation des Cabin Air Management Systems (CAMS) wurde vor dem Hintergrund entwickelt, Anpassungsprozesse von Operateuren im Umgang mit stark beanspruchenden Arbeitstätigkeiten untersuchen zu können (vgl. HOCKEY, WASTELL, & SAUER, 1998, HOCKEY, SAUER & WASTELL, 2007). Ein großer Vorteil von CAMS im Hinblick auf die ökologische Validität der Simulation ist die Bereitstellung von multiplen Aufgabenszenarien mit Haupt- und Nebenaufgaben. Die Versionen AutoCAMS (LORENZ, DINOCERA, RÖTTGER & PARASURAMAN 2002) sowie AutoCAMS 2.0 (MANZEY et al., 2008) sind Weiterentwicklungen der Simulation vor dem Hintergrund, Fragestellungen zum Umgang mit Assistenzsystemen untersuchen zu können. In der vorliegenden Arbeit wurden zwei Varianten der Version AutoCAMS 2.0 eingesetzt. AutoCAMS 2.0 besteht aus fünf Subsystemen, die gemeinsam für ausreichend Sauerstoff, konstanten Druck, angemessene Temperatur und Luftfeuchtigkeit in der Raumkabine sorgen. Dafür müssen die fünf Parameter O₂, Druck, CO₂, Temperatur und

Luftfeuchtigkeit innerhalb eines vordefinierten Normbereichs gehalten werden. Die Parameter dieser fünf Subsysteme interagieren miteinander und bilden so ein relativ hohes Maß an Komplexität ab. Die Regelung der Parameter geschieht entweder durch die automatische Systemsteuerung oder, im Falle von Systemstörungen, durch manuelle Eingriffe von Seiten des Operators. Die Hauptaufgaben bestehen für den Operator in der Leistungsüberwachung des automatisierten Kontrollsystems und darin einzugreifen, wenn Abweichungen von sicheren Systemzuständen auftreten. Der Operator erhält durch das AutoCAMS-Display zum einen Informationen über die Vorgänge im Lebenserhaltungssystem und kann zum anderen manuelle Eingriffe in das System vornehmen. In dieser Arbeit wurden zwei Varianten von AutoCAMS 2.0 verwendet, in denen jeweils unterschiedliche Operator-Aufgaben untersucht wurden. In den empirischen Studien 1 und 2 wurden Aufgaben der manuellen Prozesskontrolle untersucht. Im Fokus der empirischen Studie 3 standen Aufgaben der Fehlerdiagnose und des Fehlermanagements. Die spezifischen Eigenschaften der Simulationen werden in den jeweiligen empirischen Kapiteln 6.1, 6.2 sowie 6.3 ausführlicher beschrieben.

5 TRAININGSKONZEPT ZUR UNTERSTÜTZUNG DES ERWERBS MENTALER KAUSALMODELLE

In den folgenden Abschnitten wird ein Trainingskonzept zur Vermittlung von mentalen Kausalmodellen über komplexe Systeme vorgestellt. Es soll darauf fokussieren, Wissen für typische Operateuraufgaben wie beispielsweise die Überwachung von automatisierten Systemen, die manuelle Regelung von Parametern sowie Aufgaben der Fehlerdiagnose und des Fehlermanagements zu vermitteln. Im Zusammenhang mit der Beschreibung des Trainingskonzeptes werden Fragen aufgeworfen, die sich aus den theoretischen Vorüberlegungen für die empirische Umsetzung des Modells in Trainingsstrategien ergeben. In Abbildung 5.1 sind die sieben aus dem Rahmenmodell abgeleiteten Trainingsschritte in drei Trainingsbausteinen zusammengefasst dargestellt. Mit dem Trainingskonzept ist das Ziel verbunden, eine systematische Vorgehensweise für die Vermittlung von kausalen Wissensinhalten anzubieten. Zudem bildet diese Strukturierung eine Grundlage für die experimentelle Überprüfung von Trainingsstrategien im empirischen Teil der vorliegenden Arbeit.

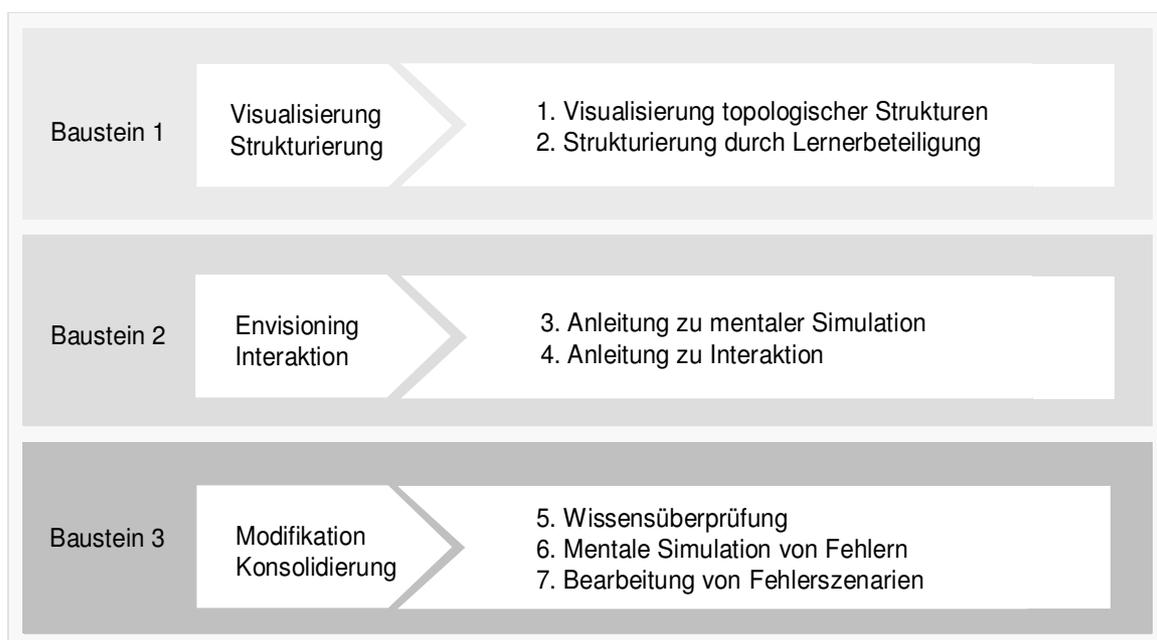


Abbildung 5.1: Trainingskonzept zur Vermittlung mentaler Kausalmodelle

5.1 Baustein 1: Visualisierung und Strukturierung

Zu Beginn des Wissenserwerbs über ein technisches System und dessen Bedienung lernt der Operateur, welche Komponenten das System besitzt und welche Verbindungen zwischen den Komponenten untereinander existieren. Zusätzlich erwirbt er zu Beginn faktisches

Wissen über die Systemkomponenten, d.h. ihre möglichen Zustandsformen und die Übergänge von einem Zustand in einen anderen. Es wird angenommen, dass das Vorhandensein einer topologischen Repräsentation und von Faktenwissen die Grundlage dafür bietet, qualitativ simulieren zu können, wie ein System funktioniert.

Der Trainingsbaustein Visualisierung und Strukturierung umfasst die Realisierung der Trainingsschritte 1: Visualisierung topologischer Strukturen und 2: Strukturierung durch Lernerbeteiligung. Das Ziel dieses Trainingsbausteins ist es, den Lernenden in seinem Wissenserwerb bei der Repräsentation von topologischen Strukturen so zu unterstützen, dass das sich anschließende Envisioning optimal vorbereitet wird.

In Kapitel 4 wurden verschiedene Ansätze zur Visualisierung und zur Strukturierung von Lernmaterial vorgestellt, die in einer experimentellen Überprüfung dieses Trainingsbausteins umgesetzt werden sollen. Eine Schwierigkeit im Zusammenhang mit der Visualisierung von Lernmaterial betrifft die Frage, welche Inhalte visualisiert werden sollten. Der Lernende erwirbt sowohl Topologien über den zugrunde liegenden Prozess als auch über die Bedienung des Systems sowie über die Anzeigen an der Schnittstelle. Im Rahmen eines computerbasierten Trainingskonzeptes sollte dieser Anspruch an Dreiteilung (Prozess, Anzeigen und Bedienung) berücksichtigt werden. Dies erfordert, die Visualisierung der Informationen auf allen drei Ebenen mit einander in Verbindung zu bringen. Zum einen sollten in der Realisierung dieses Trainingsbausteins daher die Topologien des Systems, der Anzeigen- und der Bedienelemente trainiert werden. Ferner sollte Wissen in der Art von regelbasierten Komponentenmodellen strukturiert vermittelt werden. In Kapitel 4.2.1 wurden Ansätze zur Visualisierung von Lernmaterial vorgestellt. Übertragen auf die Unterstützung des Erwerbs von topologischen Repräsentationen könnte das bedeuten, dass durch eine externe topologische Visualisierung die Systemzusammenhänge verdeutlicht werden könnten. Im hier vorgestellten Trainingskonzept wird vorgeschlagen, den Aufbau einer topologischen Repräsentation sowie den Erwerb von Komponentenmodellen durch externe Visualisierungen zu unterstützen.

Die Strukturierung des Lernmaterials kann einerseits von dem computerbasierten Trainingsprogramm vorgegeben werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dem Lernenden einen Einfluss auf die Strukturierung der Trainingsinhalte zu geben. Im Rahmen einer empirischen Studie sollte geklärt werden, welche Vorteile die jeweiligen Gestaltungsvarianten für den Wissenserwerbsprozess haben. Zusammengefasst sollte für die empirische Überprüfung der Umsetzung dieses Trainingsbausteins geklärt werden, welche Formen der

Visualisierung und Strukturierung von Systembeziehungen für den Aufbau eines mentalen Kausalmodells förderlich sind.

5.2 Baustein 2: Envisioning und Interaktion

Dieser Baustein umfasst die Trainingsschritte 3: Anleitung zu mentaler Simulation und 4: Anleitung zur Interaktion. Die Anleitung beider Aspekte soll unterstützen, dass die zuvor gelernten Wissensinhalte zusammengefügt werden und somit ein mentales Kausalmodell über die Funktionsweise des Systems entstehen kann. Zusätzlich soll durch die Anleitung zu mentaler Simulation und Interaktion die Lernwirksamkeit für den Lernenden erhöht werden. Durch die Rückmeldung über das eigene Wissen, die sich aus dem Gelingen der mentalen Simulation und der anschließenden Überprüfung dieser Annahmen in der Interaktion ergibt, erwirbt der Lernende Sicherheit über das eigene Wissen (vgl. DUTKE, 1999). DE KLEER und BROWN (1983) gehen davon aus, dass der Lernende im Zuge des Envisionings herausfindet, wie das System funktioniert. Die Komponentenmodelle sind die wesentlichen Prinzipien, auf die sich der Nutzer beim Envisioning stützt, um die Funktionsweise des Systems aus der Struktur abzuleiten. Eine zentrale Frage, die sich aus diesen Überlegungen ableitet, betrifft die Art der optimalen Unterstützung des Aufbaus der Struktur. Im vorangehenden Abschnitt wurde bereits beschrieben, dass eine Möglichkeit darin besteht, Prozesszusammenhänge bildlich zu beschreiben. DE KLEER & BROWN (1982) untersuchten zwei Problemlösetechniken für Envisioning: Die Relaxationstechnik beginnt mit der Zuweisung aller möglichen qualitativen Werte zu allen interagierenden Quantitäten und wendet dann wiederholt alle lokalen Komponentenmodelle an, um die Werte für jede Quantität zu begrenzen.

Bei der Propagationstechnik startet das Envisioning mit einem einzelnen, nicht kausal produzierten Ereignis (z.B. ein Input oder ein Zustand des Ungleichgewichts). Daraufhin werden mental die benachbarten Komponenten abgerufen und deren Verhalten untersucht um zu bestimmen, welche Ereignisse resultieren: diese Prozedur wird unbegrenzt wiederholt. Der Lernende wird in einem ersten Schritt angehalten, mit dem System zu interagieren, um in vorher definierten Abständen seine Aufmerksamkeit vom System weg zu lenken und das gerade Erlebte mental zu simulieren. Eine Überprüfung des Envisionings (erfolgreich abgelaufen?), und zwar in der Interaktion mit dem System, wird als notwendig angesehen um die Struktur des Kausalmodells zu festigen. Kritisch bei diesem Vorgehen ist anzumerken, dass von DE KLEER und BROWN (1983) experimentell nicht überprüft wurde, ob die mentale Simulation von Systemzusammenhängen notwendig ist, um ein Kausalmodell über ein zu

bedienendes System aufzubauen, oder ob nicht schon die alleinige Interaktion mit dem System ausreichend ist, um genügend Wissen über die Bedienung und die Funktionsweise aufzubauen. Mit der Relaxationstechnik konnten DE KLEER und BROWN (1982) keine Erfolge nachweisen, was die Identifizierung von Kausalbeziehungen anbelangt. Daher wird in der Trainingskonzeption die zweite Form, die Propagationstechnik angewendet. Durch das Envisioning sollte der Lernende die zu Beginn noch sehr stark ausgeprägte Ambiguität und Unsicherheit in Bezug auf die Funktionsweise des Systems reduzieren. Für die konkrete Umsetzung im Training bedeutet dies, dass der Lernende die Möglichkeit erhalten muss, sein Wissen zu überprüfen. Dies geschieht entweder durch die direkte Interaktion mit dem System und die Erprobung, ob das Gelernte richtig oder falsch ist, oder durch die Möglichkeit von Rückfragen an den Trainer bzw. an das computerbasierte Trainingssystem. Da für die Umsetzung in der vorliegenden Arbeit nur die erste Möglichkeit brauchbar war, wurde diese in das Training integriert. Eine ideale Trainingsabfolge entsprechend dem Trainingsbaustein 2 sollte so ausgestaltet sein, dass die Anleitung des Envisionings gezielt durch Systemexploration unterstützt wird. Für die empirische Überprüfung der Umsetzung dieses Trainingsbausteins ergibt sich die Forderung zu zeigen, dass eine systematische Anleitung zu mentaler Simulation in Kombination mit der Systeminteraktion eindeutig Vorteile gegenüber einem Training für eine Kontrollgruppe aufweist, in dem auf die systematische Anleitung zur mentalen Simulation verzichtet wird und das lediglich Aufgaben der Systeminteraktion beinhaltet. Das in der empirischen Untersuchung 3 umgesetzte Trainingskonzept verbindet die Trainingsstrategien Anleitung zum Envisioning und Systeminteraktion.

5.3 Baustein 3: Modifikation und Konsolidierung

Dieser Baustein beinhaltet die Trainingsschritte 5: Wissensüberprüfung, 6: Simulation von Fehlerszenarien und 7: Bearbeitung von Fehlerszenarien. Das übergeordnete Ziel der Techniken dieses Bausteins ist es, die Lernenden durch Konkretisierungen der Trainingsschritte dabei zu unterstützen, ihr bereits vorhandenes mentales Kausalmodell zu verfestigen und somit zu der Ausbildung einer sichereren Handlungsbasis zu gelangen. Trainingsschritt 5: Wissensüberprüfung sieht eine Testung des Wissens während des Trainings vor. Es wird davon ausgegangen, dass durch die Überprüfung eine intensive Auseinandersetzung mit dem Lerninhalt gefördert wird und dass der Lernende aktiv dazu angehalten wird, sich mit seiner Wissensbasis auseinanderzusetzen. Trainingsbausteine 7 und 8 befassen sich mit Techniken, durch den Transfer des Wissens auf fehlerhafte Systemzustände die Vollständigkeit des

eigenen mentalen Kausalmodells zu überprüfen. Zum einen werden die Lernenden instruiert, sich durch wiederholte qualitative Simulation von normalen Systemzuständen sowie von möglichen Fehlerszenarien intensiver mit dem System auseinanderzusetzen. Des Weiteren sollen normale Systemzustände und Fehlerszenarien in der direkten Interaktion mit dem System bearbeitet werden. Die Simulation und Bearbeitung der Fehlerszenarien dienen dazu, das Kausalmodell auf seine Gültigkeit hin zu überprüfen. Im Gegensatz zu DE KLEER und BROWN (1983), die davon ausgehen, dass jede weitere Simulation nur wenig mehr Wissen produzieren wird als das Wissen, das bereits explizit in der funktionalen Repräsentation der ersten mentalen Simulation erworben wurde, wird davon ausgegangen, dass eine Konsolidierung des Wissens dazu führt, dass das vorhandene Kausalmodell gefestigt, erweitert und verändert wird, und zwar in einem kontinuierlich fortlaufenden Prozess. Die im Kausalmodell repräsentierten Annahmen müssen robust sein, um ein System sicher bedienen zu können. Hier stellt sich allerdings die Frage, ob eine alleinige mentale Simulation ab einem gewissen Grad an Komplexität noch ausreicht, um ein grundlegendes System- und Bedienverständnis aufzubauen. Im Rahmen von experimentellen Überprüfungen sollte geklärt werden, auf welche Art und Weise diese Unterstützung im Rahmen von computerbasierten Trainings gegeben werden kann. Weiterhin sollte im Hinblick auf die in Kapitel 2 diskutierten Aufgaben von Operateuren die Anleitung zur mentalen Simulation sowohl normale als auch fehlerhafte Betriebszustände des Systems beinhalten.

6 EMPIRISCHE UNTERSUCHUNGEN

6.1 Empirische Studie 1: Visualisierung topologischer Strukturen

Mit dieser ersten empirischen Studie soll die Wirkung von unterschiedlichen Visualisierungs- und Strukturierungsarten auf den Wissenserwerb untersucht werden. In Kapitel 4.2.1 wurden Ansätze zur Visualisierung und deren Vorteile für die Unterstützung des Wissenserwerbs vorgestellt. Für die vorliegende empirische Studie ist vor allem die von WEIDENMANN et al. (1998) berichtete Studie zu Vergleichen von holistischer und sukzessiver Visualisierung von Bedeutung. Inwiefern die Ergebnisse dieser Studie auf die praktische Umsetzung in einem Trainingskonzept zur Förderung des mentalen Kausalmodellerwerbs anwendbar sind, soll mit der vorliegenden Untersuchung beantwortet werden. Es soll vor allem der Frage nachgegangen werden, ob die Visualisierung topologischer Strukturen den Erwerb eines mentalen Kausalmodells eher fördert als ein rein textbasiertes Training. In Bezug auf die Visualisierungsform soll zusätzlich untersucht werden, ob es einen Unterschied zwischen holistischer und sukzessiver Präsentation gibt (vgl. REIGELUTH, 1992; WEIDEMANN et al., 1998). Ferner ist die Frage einer sinnvollen Strukturierung in Form des Präsentationsmodus der Trainingseinheiten von Interesse. Dies betrifft die Entscheidung, wieviel Kontrolle dem Lernenden über die Strukturierung und Sequenzierung seines Lernmaterials gegeben werden soll. In den berichteten Studien zur Trainingsgestaltung wurde in diesem Zusammenhang der Einfluss unterschiedlicher Ansätze zur Lernerbeteiligung diskutiert (vgl. Kap. 4.2.2). In dieser Studie soll der Frage nachgegangen werden, ob eine Lernerbeteiligung den mentalen Kausalmodellerwerb eher unterstützt als eine Systemkontrolle (vgl. LEE & LEE, 1991; SHAPIRO, 1998; GAY, 1987). Schließlich wird der Frage nachgegangen, welche Kombinationen von Präsentationsmodus des Lernmaterials und Visualisierungsform besonders positive Einflüsse auf den Erwerb eines mentalen Kausalmodells haben.

6.1.1 Methode

6.1.1.1 Stichprobe

Für die Untersuchung wurden anhand von Aushängen an verschiedenen Standorten der Technischen Universität Berlin Studenten als Probanden gesucht, denn als Auswahlkriterium wurde das Vorhandensein der Allgemeinen Hochschulreife festgelegt. Es wird davon

ausgegangen, dass damit die Stichprobe bezüglich ihres naturwissenschaftlichen Vorwissens relativ homogen ist. An der Untersuchung nahmen insgesamt 90 Studenten der Technischen Universität Berlin teil. Elf Datensätze mussten aufgrund fehlender Daten bzw. fehlerhafter Datensätze von der weiteren Analyse ausgeschlossen werden. Von diesen elf Datensätzen konnten drei nicht in die Analyse einbezogen werden, da sich im Nachhinein herausstellte, dass die Probanden keine Studenten waren und mit einem vorhandenen Hauptschulabschluss nicht der Anforderung des Vorhandenseins der Allgemeinen Hochschulreife entsprachen. Weitere fünf Probanden waren Nicht-Muttersprachler und konnten den Wissenstest aufgrund von Sprachproblemen nicht bearbeiten. Sie wurden daher von der Analyse ausgeschlossen. Die Datensätze der übrigen drei Probanden waren fehlerhaft und mussten daher aus der weiteren Analyse ausscheiden. In die statistische Analyse gingen die Datensätze von 79 Probanden im Alter von 19 bis 35 Jahren ($M=25,10$; $SD=3,28$) ein ($\varnothing = 37$), von denen ca. ein Drittel Studenten der Naturwissenschaften, ein Drittel Studenten der Geisteswissenschaften sowie ein Drittel Studenten der Ingenieurwissenschaften waren.

6.1.1.2 Versuchsmaterialien

6.1.1.2.1 Die Simulation ManuCAMS 2.0

Die in Kap. 4.3.2 vorgestellte Simulation AutoCAMS 2.0 diente in dieser Untersuchung als Versuchsumgebung und somit als Grundlage für die Entwicklung von computerbasierten Trainingsstrategien. In dieser Untersuchung wurde die Variante ManuCAMS 2.0 eingesetzt.

Das Display für ManuCAMS 2.0: Abbildung 6.1.1 zeigt das Display für Aufgaben der manuellen Prozesskontrolle. Das Display beinhaltet ein kontinuierlich sichtbares Hauptdisplay. Dieses Hauptdisplay liefert im oberen linken Viertel eine schematische Übersicht über die Tanks, Pumpen und Ventile des Sauerstoff- und des Stickstoffsystems sowie eine Betriebsanzeige für Kohlendioxidfilter, Heizung, Kühler, Druckablassventil und Luftentfeuchter. Im unteren linken Quadranten bietet ein Verlaufsdisplay Informationen über den Verlauf der Konzentrationen der vier Systemparameter Sauerstoff, Druck, Kohlendioxid und Temperatur. Für jeden Parameter werden Schwankungen innerhalb und außerhalb des Normbereichs angezeigt. Drei Bereiche zeigen jeweils unterschiedliche Levels der Systemsicherheit an (vgl. SAUER et al., 2000). Innerhalb der beiden grünen Linien befindet sich der *grüne Bereich*. Dieser beschreibt den Normbereich für einen Parameter. Idealerweise sollte jeder Parameter innerhalb dieser Linien schwanken. Zwischen den roten Linien und dem grünen Be-

reich befindet sich der *gelbe Bereich*. Ist ein Parameter für einige Zeit innerhalb dieses Bereichs, ist dies ein frühes Warnzeichen für das Versagen einer Systemkomponente. Außerhalb der roten Linien ist der *rote Bereich*. Befindet sich ein Parameter außerhalb dieser Linien, wurde der Normbereich verlassen, was zu einer ernsthaften Gefährdung der Besatzung der Raumkabine führen kann. Bei der Messung von Operateurleistungen wird ein Abweichen von den roten Linien als Fehler in der Systemsteuerung bewertet (vgl. SAUER et al., 2000). Die Verlaufsanzeige ist permanent sichtbar und bietet die Möglichkeit, den Verlauf der Messwerte der vier Parameter innerhalb der letzten 240 Sekunden anzuzeigen. Im rechten unteren Quadranten des Displays bieten die Steuerungsmenüs die Möglichkeit, die vier Parameter per Mausklick auf die entsprechenden Buttons zu regeln.

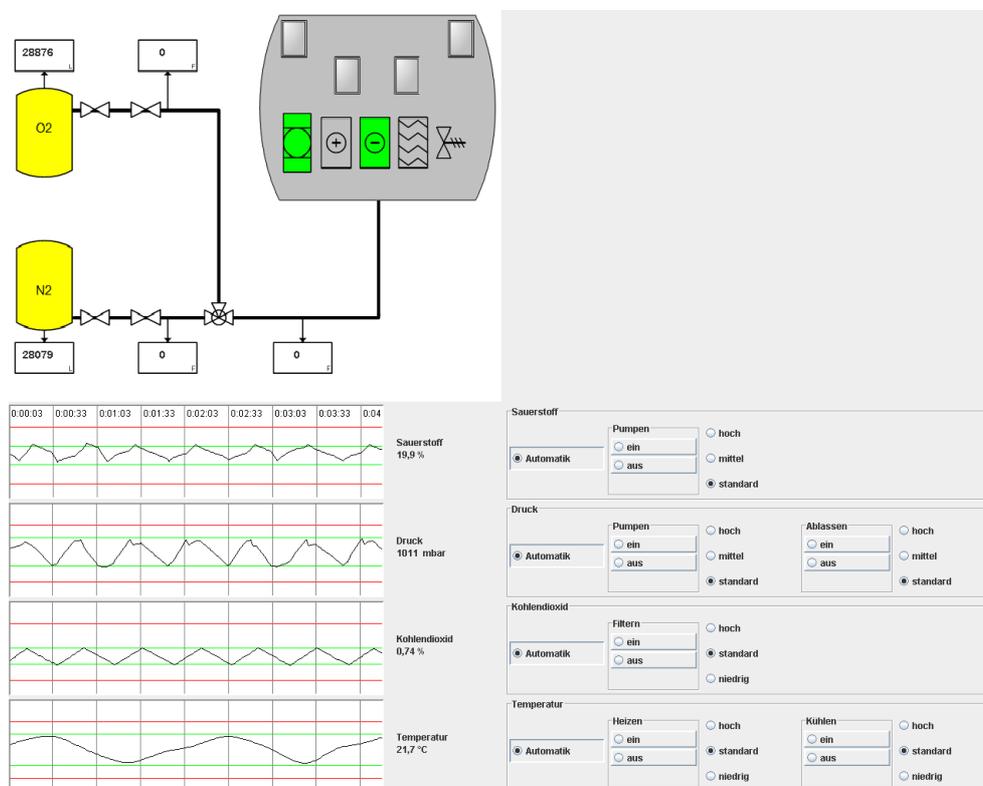


Abbildung 6.1.1: Screenshot des Displays von ManuCAMs 2.0

Die manuellen Prozesskontrollaufgaben des Operateurs: In der Simulation ManuCAMs 2.0 tritt eine permanente Störung der automatischen Regulierung der Systemparameter auf. Die Aufgabe der Operateure ist es, die vier Parameter manuell zu regeln.

6.1.1.2.2 Trainingsvarianten

Die theoretischen Überlegungen zu mentalen Kausalmodellen sowie zum Trainingsdesign (vgl. Kapitel 3 und 4) stellen die Grundlage für die Trainingsgestaltung dar. Für die

Variation der Visualisierung wurde das Kontiguitätsprinzip im Sinne von MORENO und MAYER (1999) realisiert. Die inhaltliche Beschreibung der AutoCAMS-Simulation erfolgte in enger Anlehnung an die von HOCKEY et al. (1998) und von LORENZ et al. (2002) entwickelten AutoCAMS-Handbücher. Dementsprechend war das Training in drei hauptsächliche Trainingsphasen untergliedert (eine detaillierte Auflistung der Trainingsschritte und -inhalte ist dem Anhang A.1 zu entnehmen): In einer Trainingsphase erhielten die Probanden eine allgemeine Einführung in das Cabin Air Management System und lernten die beteiligten Subsysteme mit ihren zugehörigen Komponenten kennen. In einer weiteren Trainingsphase wurden die Anzeigen an der Benutzungsschnittstelle beschrieben und es wurde erklärt, welche Informationen diese über das Prozessgeschehen geben. Schließlich wurde in einer letzten Trainingsphase in die möglichen Bedieneingriffe in das System eingeführt.

Die Erklärung der Anzeigen und der Bedieneingriffe wurden in allen untersuchten Trainingsvarianten konstant gehalten, hier fanden keine Variationen der Visualisierung statt. Diese betrafen lediglich die Trainingsphase 1, in der die Lernenden Wissen über die am Prozess beteiligten Systemkomponenten erwerben. Basierend auf den theoretischen Vorüberlegungen zu dem Einfluss von sukzessiven und holistischen Visualisierungen (vgl. Kapitel 4) wurden zwei Visualisierungsvarianten einer textbasierten Trainingsversion gegenübergestellt:

(1) Die erste Trainingsvariante repräsentiert die *holistische Visualisierung* von Prozesszusammenhängen. Abbildung 6.1.2 veranschaulicht diese Trainingsvariante beispielhaft für die Komponente Kohlendioxid. Die Trainingsvariante bietet dem Lernenden gleich zu Beginn der Trainingsphase 1 eine Übersicht über die Zusammenhänge zwischen allen am System beteiligten Komponenten. Alle Systemkomponenten werden im Verlauf des Trainings mit den zugehörigen Komponenten farblich hervorgehoben und einzeln erläutert. Die Gesamtübersicht über die Verbindungen der Komponenten ist während der gesamten Trainingsphase sichtbar.

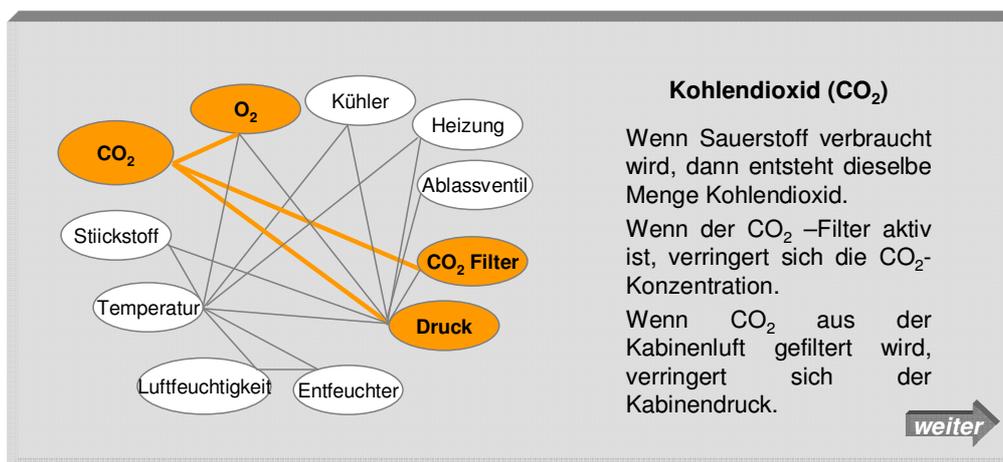


Abbildung 6.1.2: Darstellung der holistischen Trainingsvariante

(2) Eine weitere Trainingsvariante repräsentiert die *sukzessive Visualisierung* von Prozesszusammenhängen. In Abbildung 6.1.3 wird diese Trainingsvariante beispielhaft für die Komponente Kohlendioxid dargestellt. Dieses Training ist so aufgebaut, dass jede Systemkomponente mit ihren Beziehungen einzeln visualisiert und erklärt wird. Zum Abschluss der Trainingsphase 1, wenn der Lernende die Informationen über die Einzelbeschreibungen aller Komponenten erhalten hat, wird zusätzlich eine Überblicksdarstellung aller Komponenten mit ihren Verbindungen untereinander präsentiert. Die Komplexität der Beziehungen baut sich somit erst im Verlauf des Trainings auf.

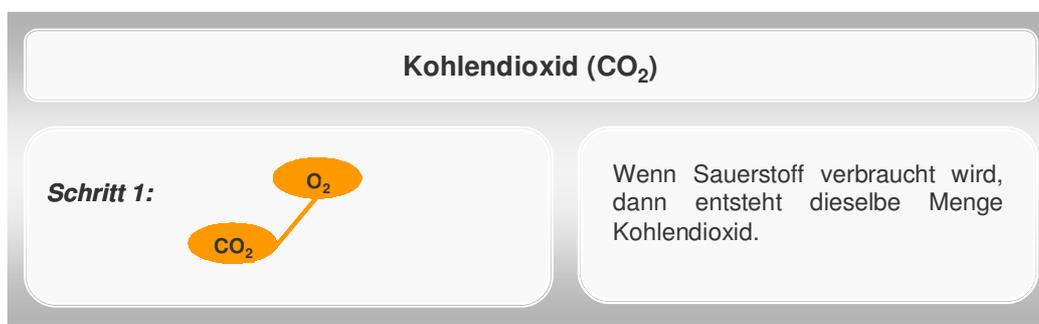


Abbildung 6.1.3: Darstellung der sukzessiven Trainingsvariante

(3) Als Kontrollbedingung diente eine Variation, in der die Prozesszusammenhänge rein *textbasiert* dargeboten wurden und in dem auf eine Visualisierung verzichtet wurde. Diese textbasierte Trainingsvariante beinhaltet dieselben Textbausteine wie die zwei Visualisierungsvarianten. Der Lernende erhält in der Trainingsphase 1 allerdings keinerlei bildliche Darstellungen der Komponentenzusammenhänge.

Zusätzlich zu diesen Visualisierungsvariationen wurde auch der Präsentationsmodus des computerbasierten Trainings variiert:

(1) Eine *systembasierte* Präsentationsvariante legt für den Lernenden sowohl die Reihenfolge der Trainingsphasen als auch die Reihenfolge der Informationen innerhalb der Trainingsphasen fest. Versuchsteilnehmer in dieser Bedingung erhalten zuerst die Informationen zu den Systemkomponenten (Trainingsphase 1) in festgelegter Abfolge, dann die Informationen zu den Anzeigen (Trainingsphase 2) und schließlich die Informationen zu möglichen Bedieneingriffen (Trainingsphase 3).

(2) In einer *lernerbeteiligten* Variante kann der Versuchsteilnehmer selbst die Reihenfolge der Trainingsphasen (Beginn des Trainings entweder mit den Informationen zu den Systemkomponenten (Phase 1), den Anzeigen (Phase 2) oder den Bedieneingriffen (Phase 3)) bestimmen.

6.1.1.3 Unabhängige Variablen und Design

Als unabhängige Variablen dienten in dieser Untersuchung die *Visualisierung* sowie der *Präsentationsmodus* des computerbasierten Trainings. Der Faktor Visualisierung ist dreifach gestuft (holistische vs. sukzessive vs. ohne Visualisierung), der Faktor Präsentationsmodus ist zweifach gestuft (Systemkontrolle vs. Lernerbeteiligung). Tabelle 6.1.1 zeigt eine Übersicht über das 3x2 faktorielle Untersuchungsdesign.

Tabelle 6.1.1: 3x2 faktorielles Untersuchungsdesign der empirischen Studie 1

Visualisierung	Präsentationsmodus	
	Systemkontrolle	Lernerbeteiligung
Holistische Visualisierung	(hol_sys) n=14	(hol_lb) n=14
Sukzessive Visualisierung	(suk_sys) n=12	(suk_lb) n=12
Ohne Visualisierung	(ohne_sys) n=13	ohne_lb n=14

6.1.1.4 Abhängige Variablen

Die Güte des Kausalmodells wurde in Anlehnung an HEUER (2002) in zwei Bereiche unterteilt: Leistungsmaße anhand eines Wissenstests einerseits dienten zur Feststellung von System- und Bereichswissen und Leistungsmaße für eine Systemsteuerungsaufgabe dienten andererseits zur Ermittlung der Güte der Systemsteuerung. Tabelle 6.1.2 gibt eine Übersicht über die in dieser Studie erfassten abhängigen Variablen.

Tabelle 6.1.2: Übersicht über die abhängigen Variablen der empirischen Studie 1

Güte des Kausalmodells	Konstrukt	Variable
Güte des Wissens	Systemwissen	Leistung bei Multiple-Choice Wissensfragen
	Bereichswissen	Leistung bei offenen Wissensfragen
Güte der Systemsteuerung		Steuerleistung für den Indikator „grüner Bereich“
		Steuerleistung für den Indikator „roter Bereich“

6.1.1.4.1 Maße für die Güte der Systemsteuerung

Die Probanden führten eine manuelle Regelungsaufgabe mit ManuCAMS 2.0 aus. Die Güte der Systemsteuerung wurde anhand folgender Leistungsindikatoren ermittelt (vgl. RÖTTGER, KLOSTERMANN & MANZEY, 2007):

Parameter im grünen Bereich: Da die Aufgabe der Probanden darin besteht, alle kontrollierten Parameter während der gesamten Dauer des Experimentes im grünen Bereich zu halten, ist eine sehr einfache und direkte Operationalisierung der Operateurleistung der prozentuale Anteil der Zeit an der gesamten Versuchszeit, in der dieses Ziel erreicht wurde. Dieser Wert kann zwischen 0 Prozent (zu jedem Zeitpunkt des Versuchs war mindestens ein Parameter außerhalb des definierten Sollbereichs) und 100 Prozent liegen (zu jedem Zeitpunkt des Versuchs waren alle zu steuernden Parameter innerhalb der vorgeschriebenen Grenzen).

Parameter im roten Bereich: Eine weitere Aufgabe der Probanden besteht darin, sicherzustellen, dass alle kontrollierten Parameter während der gesamten Dauer des Experimentes im roten Bereich sind, da andernfalls ein Überleben der Kabinenbesatzung gefährdet wäre. Entsprechend der Berechnung des Indikators *Parameter im grünen Bereich* wird dieser Parameter ebenfalls darüber operationalisiert, zu welchem prozentualen Anteil der Zeit an der gesamten Versuchszeit dieses Ziel erreicht wurde. Dieser Wert kann ebenfalls zwischen 0 Prozent (zu jedem Zeitpunkt des Versuchs war mindestens ein Parameter außerhalb des definierten Sollbereichs) und 100 Prozent (zu jedem Zeitpunkt des Versuchs waren alle zu steuernden Parameter innerhalb der vorgeschriebenen Grenzen) liegen.

6.1.1.4.2 Maße für die Güte des Wissens

Die Güte des Wissens wurde anhand eines Wissensfragebogens mit zwei Fragetypen ermittelt. Die Fragen im Wissensfragebogen lassen sich den Wissenskategorien im Sinne der Einteilung von KLUWE und HAIDER (1990) zuordnen (vgl. Kap. 3.2.1). Der vollständige Fragebogen ist dem Anhang A.3 zu entnehmen. In einem ersten Frageblock wurde das *Systemwissen* über die Komponenten von ManuCAMS 2.0 erfasst. Sie geben Aufschluss darüber, wie gut die Leistung der Probanden in der Bearbeitung von Fragen zu den Systemkomponenten, ihren Eigenschaften und besonderen Charakteristiken ist. Fragen dieser Art lassen sich nach BORTZ & DÖRING (2002) der Kategorie „Antwortvorgabe mit mehreren Auswahlantworten“ zuordnen. Die Probanden erhielten für jede Komponente eine Auflistung aller ManuCAMS-Komponenten mit folgender Instruktion: *„Subsystem Druck: Bitte benenne alle Systemkomponenten, die am Subsystem Druck in der Raumkabine beteiligt sind. Bitte kreuze Zutreffendes an. Mehrfachantworten sind möglich.“*

Der zweite Frageblock erfasste *System- und Funktionswissen* über die Funktionsweise von ManuCAMS 2.0. Fragen dieses Typs erfragen das Wissen der Probanden über die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge innerhalb des Systems. Sie lassen sich der Kategorie „Items mit halboffener Beantwortung/ mit Reihenantwort“ zuordnen. Die Probanden erhielten folgende Instruktion zur Bearbeitung der Fragen: *„1. Der Sauerstoffgehalt in der Kabine ist unter die kritische Grenze von 19,5 % gesunken. Wie kann es dazu gekommen sein? Bitte gib alle möglichen Ursachen für ein Absinken des Sauerstoffgehalts an. Bitte begründe Deine Antwort in Form von Wenn-Dann-Regeln. Gehe bei der Begründung bitte nach folgendem Beispiel vor: 1. Der Entfeuchter wurde aktiviert. Begründung: Wenn der Entfeuchter aktiviert ist, dann verringert sich die Menge an Sauerstoff. 2. Kabinenbesatzung: Wenn die Kabinenbesatzung atmet, dann wird Sauerstoff verbraucht.“*

2. Welche Auswirkungen hat ein Absinken der Sauerstoffkonzentration in der Raumkabine? Bitte begründe Deine Antwort.“

6.1.1.5 Moderierende Variablen

Als mögliche Moderatoren, von denen angenommen wird, dass sie zusätzlich den Wissenserwerb beeinflussen könnten, wurden anhand eines demographischen Fragebogens das technische und naturwissenschaftliche Vorwissen abgefragt (vgl. Anhang A.2) sowie die Präferenz für Text-, Bild- oder Sprachlernen. Zusätzlich wurde angenommen, dass das

Konzentrationsvermögen einen moderierenden Einfluss auf die Steuerleistung haben könnte. Daher wurde anhand des Frankfurter Aufmerksamkeitsinventars (FAIR; MOSSBRÜGGER & OEHLISCHLÄGL, 1996) die Konzentrationsleistung als moderierende Variable erfasst. Ferner wurde die Fähigkeit zum abstrakten Denken als möglicher Einfluss auf den Erfolg angesehen, die Funktionsweise eines komplexen technischen Systems zu lernen. Diese wurde anhand der Subskala des Leistungsprüfsystems (LPS3; HORN, 1983) als moderierende Variable kontrolliert.

6.1.1.6 Hypothesen

Die im Folgenden vorgestellten Hypothesen leiten sich aus den zu Beginn dieses Kapitels vorgestellten Fragen ab. Alle Hypothesen repräsentieren die Alternativhypothese, H1. Die Nullhypothesen repräsentieren jeweils das Gegenteil.

Hypothesen für Haupteffekte:

H1a: Probanden mit einer der Visualisierungsbedingungen erzielen bessere Leistungen im Wissens- und im Leistungstest als Probanden mit der textbasierten Trainingsbedingung.

H1b: Probanden der holistischen Trainingsbedingung unterscheiden sich in ihrer Wissens- und Steuerleistung von Probanden der sukzessiven Trainingsbedingung.

H2: Probanden der systembasierten Trainingsbedingung unterscheiden sich in ihrem Wissen und in ihrer Leistung von den Probanden der lernerbeteiligten Trainingsbedingung.

Interaktionshypothese:

H3: Probanden der Visualisierungsbedingung werden zu aktiverem Textlernen veranlasst und profitieren daher von einem höheren Ausmaß an Lernerbeteiligung. Sie erzielen bessere Leistungen im Wissens- und im Leistungstest als Probanden der textbasierten Bedingung.

6.1.1.7 Versuchsablauf

Die Untersuchung fand in der Zeit vom 15.01.2007 bis zum 15.03.2007 im Gruppenlabor des Zentrum Mensch-Maschine-Systeme an der Technischen Universität Berlin statt. In jeder experimentellen Sitzung wurden zwei bis vier Versuchsteilnehmer gleichzeitig in der Bedienung des ManuCAMS 2.0 trainiert. Die Versuchsteilnehmer wurden per Zufall einer der sechs experimentellen Bedingungen zugewiesen. Ein Versuchsdurchlauf nahm zwischen 120 und 150 Minuten Zeit in Anspruch. Das Experiment war für jeden Probanden in 3 Teile

untergliedert. In Teil 1 der Untersuchung wurden die Probanden gebeten, einen demographischen Fragebogen mit Fragen zu ihrer Person sowie zu ihrem naturwissenschaftlichen und technischen Vorwissen und ihrer Lernpräferenz auszufüllen. Im Anschluss daran füllten alle Probanden unter Anweisung des Versuchsleiters das Frankfurter Aufmerksamkeits-Inventar (MOSSBRUGGER & OEHLSCHLÄGEL, 1996) sowie die Skala 3 des Leistungsprüfsystems (HORN, 1983) aus. In Teil 2 der Untersuchung, der eigentlichen Trainingsphase, erhielten die Probanden ein computerbasiertes Training, basierend auf einer der sechs Kombinationen von Visualisierungsform und Präsentationsmodus. In Teil 3 der Untersuchung, der Testungsphase, wurden die Probanden gebeten, eine manuelle Regelungsaufgabe mit ManuCAMS 2.0 über einen Zeitraum von 30 Minuten hinweg auszuführen. Im Anschluss daran füllten sie einen Wissensfragebogen mit Fragen zu den Systemzusammenhängen aus.

Tabelle 6.1.3: Übersicht über den Versuchsablauf der empirischen Studie 1

	Ablauf		
Teil 1: Einführung	Instruktionen Fragebogen zu demographischen Daten Frankfurter Aufmerksamkeits-Inventar LPS-3		
Teil 2: Training	Holistisches Training (1) lernerbeteiligte Variante (2) systembasierte Variante	Sukzessives Training (1) lernerbeteiligte Variante (2) systembasierte Variante	Textbasiertes Training (1) lernerbeteiligte Variante (2) systembasierte Variante
Teil 3: Testung	Manuelle Regelungsaufgabe Wissensfragebogen		

6.1.1.8 Datenaufbereitung

Die Logfiles der Performanzdaten wurden mit der Software Scilab (c)INRIA-ENPC aufbereitet (vgl. RÖTTGER et al. 2007). Für jeden Probanden wurde die Leistung bezogen auf die vier Indikatoren bestimmt. Der Wissensfragebogen wurde anhand eines Referenzbogens ausgewertet. Die Referenzantworten sowie die Punktevergabe für die einzelnen Fragen können Anhang A.3 entnommen werden. Die weitere statistische Auswertung und Analyse erfolgte mit der Software SPSS 15.0.

6.1.2 Ergebnisse

In die statistische Analyse sind die Daten von 79 Probanden eingegangen. Die Ergebnisse der MANOVAs werden im Folgenden getrennt für die abhängigen Variablen berichtet. In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der varianzanalytischen Auswertungen zu den Wissensdaten und zu den Performanzdaten vorgestellt. Die Tabellen für die Ergebnisse aller Analysen können Anhang A.4 entnommen werden.

6.1.2.1 Ergebnisse der Wissensanalyse

Die Ergebnisse für den Wissensfragebogen wurden anhand einer zweifaktoriellen multivariaten Varianzanalyse berechnet.

Tabelle 6.1.4 gibt einen Überblick über die deskriptiven Ergebnisse zum Systemwissen.

Tabelle 6.1.4: Mittelwerte und Standardabweichungen zum Systemwissen

Visualisierung	Präsentationsmodus	MW	SD
Holistisch	Systembasiert	14.07	2.53
	Lernerbeteiligt	14.29	1.68
Textbasiert (ohne V.)	Systembasiert	13.08	2.14
	Lernerbeteiligt	13.07	2.4
Sukzessiv	Systembasiert	14.33	2.23
	Lernerbeteiligt	15.5	1.68
<i>Gesamt</i>	Systembasiert	13.82	2.32
	Lernerbeteiligt	14.22	2.15

Die varianzanalytische Auswertung für das *Systemwissen* ergibt einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Visualisierung ($F_{2,73} = 4.803$; $p = .011$; $\eta^2 = .116$). Abbildung 6.1.4 zeigt, dass Probanden, die mit der sukzessiven Visualisierungsvariante trainiert wurden, bessere Ergebnisse im Wissenstest erzielen als die textbasiert Trainierten und die holistisch Trainierten. Die Berechnung von post-hoc-Vergleichen zeigt signifikante Unterschiede zwischen der Gruppe der sukzessiv trainierten und der textbasiert trainierten Probanden ($p = 0,012$). Die Gruppen der beiden Visualisierungsbedingungen, also der holistisch Trainierten und der sukzessiv Trainierten, unterscheiden sich nicht signifikant voneinander ($p > .05$).

Die varianzanalytische Auswertung ergibt keinen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Präsentationsmodus ($F_{1,73} = 0.900$, ns). Der Interaktionseffekt für die beiden Faktoren Training und Präsentationsmodus ist ebenfalls nicht signifikant ($F_{2,73} = 0.529$, ns).

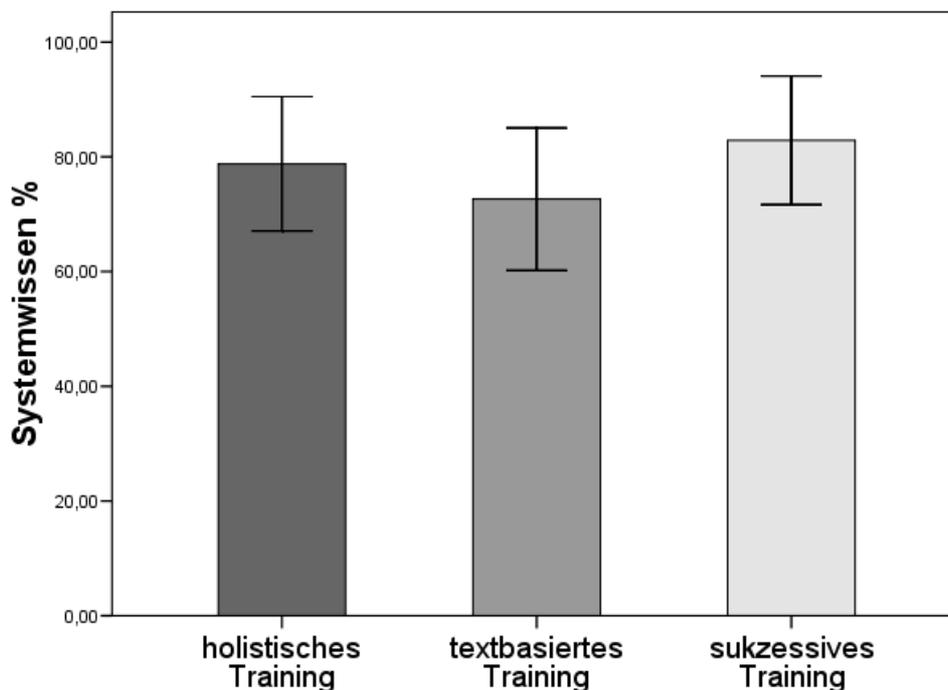


Abbildung 6.1.4.: Ergebnisse der MANOVA zum Systemwissen (Fehlerbalken +/- 1SD)

Die Mittelwerte und Standardabweichungen für die Ergebnisse zum Funktionswissen sind der Tabelle 6.1.5 zu entnehmen. Die varianzanalytische Auswertung ergibt keinen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Visualisierung ($F_{2,73} = 1.027$, ns). Die varianzanalytische Auswertung zeigt ebenfalls keinen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Präsentationsmodus ($F_{1,73} = 0.355$, ns).

Tabelle 6.1.5: Mittelwerte und Standardabweichungen zum Funktionswissen

	Präsentationsmodus			
	Systembasiert		Lernerbeteiligt	
Visualisierung	MW	SD	MW	SD
Holistisch	17.93	5.01	19.5	6.55
Textbasiert (ohne V.)	21.54	3.95	16.86	4.19
Sukzessiv	20.0	3.69	21.17	4.73

In der varianzanalytischen Auswertung ergibt sich allerdings ein signifikanter Interaktionseffekt für die Faktoren Visualisierung und Präsentationsmodus ($F_{2,73} = 3.529$; $p = 0.034$;

$\eta^2 = 0.088$). Der Interaktionseffekt (vgl. Abb.6.1.5) der beiden Faktoren zeigt, dass Probanden mit Visualisierung von der lernerbeteiligten Bedingung bezüglich ihres Funktionswissens profitieren, während die Probanden ohne Visualisierung unter der systembasierten Trainingsbedingung bessere Ergebnisse erzielen.

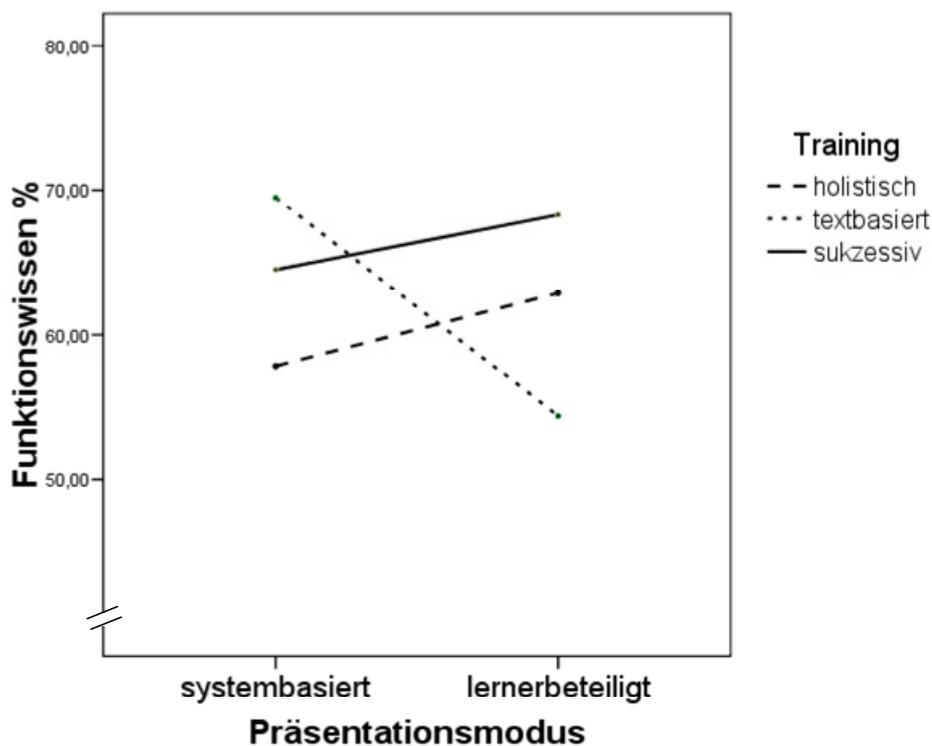


Abbildung 6.1.5: Interaktionseffekt für die Faktoren Visualisierung und Präsentationsmodus

Für die statistische Absicherung dieses Interaktionseffektes wurden die Faktorkombinationen umkodiert, um die Einzelvergleiche in einer einfaktoriellen ANOVA berechnen zu können. Die post hoc Analysen für die einfaktorielle ANOVA ergeben signifikante Unterschiede zwischen der Bedingung ohne Visualisierung, systembasiert und der Bedingung ohne Visualisierung, lernerbeteiligt ($p = 0,019$). Es ergeben sich ebenfalls Unterschiede zwischen der Bedingung ohne Visualisierung, lernerbeteiligt und der Bedingung sukzessive Visualisierung, lernerbeteiligt ($p = 0,039$). Die weiteren Einzelvergleiche der post hoc Analysen wurden nicht signifikant.

6.1.2.2 Ergebnisse zur Güte der Systemsteuerung

In der varianzanalytischen Auswertung für den Faktor Visualisierung (vgl. Tabelle 6.1.6) zeigen sich keine signifikanten Unterschiede für den Faktor Training, bezogen auf die beiden Leistungsindikatoren Leistung grüner Bereich ($F_{2,73} = 0.310$; ns;) und Leistung roter

Bereich ($F_{2,73} = 0.049$; ns). Die Trainingsgruppen unterscheiden sich demnach nicht signifikant voneinander in der Leistung bei der manuellen Regelungsaufgabe.

Tabelle 6.1.6: Ergebnisse der MANOVA für die Güte der Systemsteuerung

	Indikator	Df	F	p	η^2
Visualisierung	Grüner Bereich	2	0.310	0.735	0.008
	Roter Bereich	2	0.049	0.952	0.001
Präsentationsmodus	Grüner Bereich	1	0.546	0.462	0.007
	Roter Bereich	1	2.322	0.132	0.031
Visualisierung * Präsentationsmodus	Grüner Bereich	2	0.967	0.385	0.026
	Roter Bereich	2	2.083	0.132	0.054
Fehler	Grüner Bereich	73			
	Roter Bereich	73			

Die deskriptiven Ergebnisse für den Faktor Präsentationsmodus sind der Tabelle 6.1.7 zu entnehmen. Auch für den Faktor Präsentationsmodus zeigen sich in der statistischen Auswertung keine signifikanten Effekte hinsichtlich der Indikatoren Leistung grüner Bereich ($F_{1,73} = 0.546$; ns) und Leistung roter Bereich ($F_{1,73} = 2.322$; ns). Die Trainingsgruppen unterscheiden sich demnach nicht hinsichtlich ihrer Leistung bei der Bearbeitung der manuellen Regelungsaufgabe.

Tabelle 6.1.7: Mittelwerte und Standardabweichungen für den Faktor Präsentationsmodus

Leistungsindikatoren	Systemkontrolliert		Lernerbeteiligt	
	M	SD	M	SD
Grüner Bereich	31.28	16.7	27.58	19.25
Roter Bereich	81.56	12.94	75.04	19.90

Aus der varianzanalytischen Auswertung ergeben sich ebenfalls keine signifikanten Interaktionseffekte für die Faktoren Visualisierung und Präsentationsmodus im Hinblick auf die vier Leistungsindikatoren ($F_{1,73} = 0.967$; ns; $F_{1,73} = 2.083$; ns).

6.1.2.3 Einflüsse von Moderatorvariablen

Zur Absicherung des Einflusses von möglichen Moderatorvariablen wurden Korrelationsanalysen zur Klärung der Zusammenhänge zwischen den Moderatoren und den abhängigen Variablen durchgeführt. Die Ergebnisse der Korrelationsanalysen sind dem Anhang A.4 zu

entnehmen. Berechnete Korrelationen mit Moderatorvariablen weisen auf einen Zusammenhang zwischen der Textlernpräferenz und der Leistung im Wissenstest für den speziellen Bereich des Systemwissens hin ($r=.333$, $p>.01$). Die übrigen Korrelationen weisen keine signifikanten Zusammenhänge mit den abhängigen Variablen auf. Im Anschluss an die Korrelationsanalysen wurde eine Kovariationsanalyse mit der Variable Textlernpräferenz als Kovariate durchgeführt, da eine signifikante Korrelation zwischen der Textlernpräferenz und der Leistung im Bereichswissen gefunden wurde. Mit der Textlernpräferenz als moderierenden Variable ergeben sich folgende Veränderungen in den abhängigen Variablen: Die statische Analyse für die Daten zum Systemwissen ergibt einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Training ($F_{2,69} = 3.369$, $p = .04$; $\eta^2 = .089$). Für die Ergebnisse zum Funktionswissen zeigt sich mit ($F_{2,69} = 2.842$), $p = .065$; $\eta^2 = .076$) ein Trend für die Interaktion zwischen Trainingsform und Präsentationsmodus.

6.1.3 Diskussion und Zusammenfassung der Ergebnisse

6.1.3.1 Auswirkungen der Visualisierung auf die Güte des Wissens

Die vorliegenden Ergebnisse unterstützen teilweise die Hypothese H1a: „Probanden mit der Visualisierungsbedingung erzielen bessere Leistungen im Wissens- und im Leistungstest als Probanden mit der textbasierten Trainingsbedingung“. Es konnte gezeigt werden, dass die Visualisierung von Systembeziehungen Auswirkungen auf die Güte des Wissenserwerbs hat. Der Einfluss von Visualisierungen auf den Wissenserwerb kann aufgrund der vorliegenden Ergebnisse jedoch nicht einheitlich bestimmt werden. Die Ergebnisse zum Systemwissen zeigen, dass Lerner mit Visualisierung bei den Aufgaben zum Systemwissen besser abschneiden als die Lerner mit einem textbasierten Training. In Bezug auf diese Wissensform können demnach positive Auswirkungen nachgewiesen werden. Die in dieser Untersuchung realisierten Visualisierungsformen scheinen demnach gut geeignet zu sein, um den Erwerb von Systemwissen zu unterstützen. Die statistische Analyse ergab hingegen keine signifikanten Unterschiede für den Erwerb von Funktionswissen. Eine mögliche Erklärung für die fehlenden Unterschiede könnte darin liegen, dass sich lerner- und systembasierte Varianten differentiell auf die Visualisierungsform auswirken und der Haupteffekt für das Funktionswissen deshalb nicht zustande gekommen ist. Diese Erklärung wird zusätzlich durch den signifikanten Interaktionseffekt beim Funktionswissen unterstützt.

Die uneinheitlichen Ergebnisse zur Wirkung der Visualisierung lassen sich ebenfalls hinsichtlich des verwendeten Bildmaterials diskutieren. Durch das Bildmaterial wurden die Systemkomponenten hervorgehoben und es wurden Beziehungen zwischen den Komponenten dargestellt. Die Qualität der Beziehungen wurde jedoch bildlich nicht näher spezifiziert. In einer nachfolgenden Untersuchung sollte daher überprüft werden, ob Bildmaterial, das vorwiegend auf die Vermittlung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen abzielt, einen förderlichen Effekt für den Wissenserwerb haben wird.

In den Kapiteln 4 und 5 wurde diskutiert, dass die Interaktion mit dem System ein notwendiger Schritt ist, um das Wissen über das zu bedienende System festigen zu können. Da in dieser Studie die Systeminteraktion lediglich während der Testungsphase stattfand, die Probanden im Vorfeld aber keine Möglichkeit hatten, mit dem System zu interagieren, ist an dieser Stelle zu fragen, inwieweit die Möglichkeit der Systeminteraktion in Verbindung mit den verschiedenen Visualisierungs- und textbasierten Trainingsstrategien zu unterschiedlichen Ausprägungen im kausalen Wissen führen würde. Der Einfluss der Systeminteraktion als Trainingswerkzeug sollte daher in weiterführenden Untersuchungen aufgegriffen und systematisch untersucht werden. Ein Grund für die fehlenden Unterschiede könnte darin liegen, dass sich die Trainingsvarianten nur im Hinblick auf die Unterstützung der Visualisierung unterscheiden, nicht jedoch in den Textbausteinen. Dementsprechend erhielten alle Trainingsgruppen dieselben Textbausteine. Alle Probanden wurden in der Instruktion aufgefordert, sich mit allen Informationen während des Trainings zu beschäftigen. Im Verlauf des Trainings wurde jedoch nicht kontrolliert, ob die Probanden der Visualisierungsbedingungen tatsächlich anhand der Bilder gelernt haben. Der Bildschirm für die Visualisierungsbedingungen war zweigeteilt, die Probanden mussten nicht notwendigerweise die bildliche Information aufnehmen, sondern konnten ihre Aufmerksamkeit lediglich auf die Textinformation richten. Die Korrelationsanalysen geben zusätzlich Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen der Textlernpräferenz und der Leistung im Wissensfragebogen. Eine Erklärung für die fehlenden Wissensunterschiede mag darin liegen, dass die Probanden der Visualisierungsbedingungen ebenfalls auf der Grundlage der Textinformation gelernt und die bildliche Information ignoriert haben. Dadurch hätten alle Experimentalgruppen auf die gleiche Informationsbasis zurückgegriffen, was in der Wissensdiagnose zwangsläufig zu einer Abschwächung der Unterschiede führen würde. Für nachfolgende Experimente scheint es daher erforderlich zu sein, die Darstellung von Text- und Bildinformation so zu kombinieren und zu integrieren, dass beide Informationsdarbietungen zwangsläufig aufgenommen werden müssen.

Beide Visualisierungsgruppen erzielen in der Wissensdiagnose und bei der manuellen Regelungsaufgabe mit ManuCAMS 2.0 ähnlich gute Ergebnisse. Hier stellt sich die Frage, ob die eingesetzten Visualisierungsformen sich zu ähnlich waren, als dass sie unterschiedliche Qualitäten von Wissen hervorgebracht haben können.

Zwischen den zwei Präsentationsmodi lernerbeteiligt und systembasiert zeigen sich keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Leistung im Wissenstest. Es konnte allerdings gezeigt werden, dass Lerner mit bildlicher Unterstützung des Textmaterials von der Selbstorganisation profitieren. Sie erwerben besseres Funktionswissen als Lerner, die mit einem textbasierten und lernerbeteiligten Training trainiert wurden. Eine mögliche Erklärung könnte darin liegen, dass die Bildlerner durch die interaktiven Bilder zusätzlich dazu angeregt wurden, sich aktiv mit dem Text und den Bildern auseinander zu setzen. Die Textlerner profitieren davon, dass ihnen das System die Struktur der Information vorgibt; zusätzlich entstehen ihnen Nachteile, wenn sie die Abfolge der Information selbst organisieren sollen.

6.1.3.2 Auswirkungen der Visualisierung auf die Güte der Systemsteuerung

Generell zeigen sich keine Unterschiede der sechs Trainingsvarianten bei der Performanz in der manuellen Regelungsaufgabe. Es zeigen sich ebenfalls keine Auswirkungen der Lernerkontrolle auf die Performanz. In Bezug auf die Leistungsmaße müssen dementsprechend alle Hypothesen zu den Haupt- und Interaktionseffekten falsifiziert werden. Eine mögliche Erklärung könnte in der Auswahl und Gestaltung des Bildmaterials liegen. Die zusätzlichen Informationen, die den Probanden durch die Visualisierungsformen bereitgestellt wurden, waren möglicherweise nicht konkret genug darauf abgestimmt, Wissen über Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge, das für die Regelungsaufgabe notwendig gewesen wäre, zu vermitteln. In einer weiteren Studie sollte geklärt werden, ob eine Anreicherung des Bildmaterials positivere Auswirkungen auf die Regelungsleistung hat. Ein weiterer Grund für die fehlenden Unterschiede in der Leistung bei der Systeminteraktionsaufgabe könnte in der zeitlich vorausgehenden Wissensdiagnose liegen. Der Wissensfragebogen könnte als eine weitere Trainingseinheit gewirkt und die Generierung neuen Wissens angeregt haben (vgl. SÜB, 1996). Dies könnte zu einer Homogenisierung der Gruppen geführt und dadurch mögliche Unterschiede zwischen den Gruppen abgeschwächt haben. An dieser Stelle muss ebenfalls kritisch hinterfragt werden, inwieweit die Leistungsaufgabe geeignet ist, um Unterschiede zwischen den Trainingsformen aufdecken zu können. Möglicherweise ist die hier eingesetzte manuelle Regelungsaufgabe eine zu einfache Aufgabe gewesen, für deren

Ausführung nicht notwendigerweise Kausalwissen erforderlich war. KLUWE et al. (1989) fanden in einem Trainingsexperiment heraus, dass zur Steuerung eines komplexen Systems neben deklarativem Wissen einige wenige Regeln ausreichten, um den Prozess erfolgreich steuern zu können. Aus ihren Experimenten schlussfolgerten sie, dass es Operateuren möglich ist, ein komplexes System zu steuern, ohne notwendigerweise verstehen zu müssen, wie es genau funktioniert. Selbst wenn die Probanden in dem hier vorgestellten Experiment also unterschiedliches Wissen erworben hatten, hat dies möglicherweise nicht ihre Leistung bei der Bearbeitung der Regelungsaufgabe beeinflusst.

Zusammengefasst lässt sich zeigen, dass sowohl die holistischen als auch die sukzessiven Visualisierungsformen unter bestimmten Bedingungen ein nützliches Instrument für computerbasierte Trainings darstellen (KLOSTERMANN & THÜRING, 2007b, 2007c). Die Visualisierung von Prozesszusammenhängen, wie sie in dieser Studie realisiert wurde, ist allein allerdings keine angemessene Trainingsstrategie, um den Erwerb kausalen Wissens zu fördern. Die signifikante Interaktion von Visualisierung und Präsentationsmodus für die Daten zum Wissenstest zeigt, dass Lerner mit Visualisierung davon profitieren, ihre Trainingssequenzen selbst zu organisieren, während Lerner, die nur Textinformation erhalten, besser mit einer vom System strukturierten Informationsdarbietung lernen. Um eine allgemeine Überlegenheit von Visualisierungen gegenüber rein textbasierten Trainings zeigen zu können, sollten in weiteren Studien unterschiedliche Versionen von Bildmaterial zum Einsatz kommen. Die sukzessive Visualisierung führte zu etwas besseren Leistungen im Wissenstest. Auf diese Form der Visualisierung soll daher in nachfolgenden Untersuchungen zurückgegriffen werden. Die Performanz hingegen wurde von der experimentellen Variation nicht beeinflusst. Das Hauptaugenmerk für die Performanzaufgabe lag auf Tätigkeiten der Überwachung und Steuerung. Möglicherweise haben die Systemsteuerungsaufgaben nicht explizit das Ursache-Wirkungs-Wissen angesprochen, das auch im Training vermittelt wurde, sondern vielmehr angeregt, das System unter Verwendung einfacher Input-Output-Regeln zu steuern. Die Ursache könnte darin zu suchen sein, dass durch die gewählte Form der Visualisierung von Prozesszusammenhängen lediglich Konditionalwissen, nicht aber Kausalwissen vermittelt wurde. An dieser Stelle bleibt also offen, ob sich die fehlenden Unterschiede auf die Art der Visualisierung beziehen, d.h. ob vielleicht eine Präsentation mit stärker angereicherter Kausalinformation für den Lernenden zu besseren Ergebnissen in der Unterstützung des kausalen Wissenserwerbs führt. Die nachfolgende Studie wird diese Frage aufgreifen, um Hinweise zu ihrer Beantwortung zu liefern.

6.2 Empirische Studie 2: Visualisierung von Kausalinformationen

Mit der zweiten empirischen Untersuchung sollen die Auswirkungen von Visualisierungsvarianten und Systeminteraktionen auf den mentalen Kausalmodellerwerb untersucht werden. Dazu werden experimentelle Variationen für die Trainingsbausteine 1: Topologie und Strukturierung sowie ein Teilbereich des Trainingsbausteins 2: Interaktion untersucht. In der empirischen Studie 1 konnte bereits der Einfluss von Systemvisualisierungen als Trainingswerkzeug zur Vermittlung von Systemwissen nachgewiesen werden. Positive Einflüsse auf den Erwerb von Ursache-Wirkungswissen konnten nur in der lernergesteuerten Variante gezeigt werden. Das Vorhandensein von Ursache-Wirkungs-Wissen über das System ist allerdings bedeutsam, um verschiedene Aufgaben der Systemüberwachung und -steuerung ausführen zu können. Welchen Einfluss hat eine in die topologische Visualisierung integrierte Darstellung der Ursache-Wirkungs-Beziehung auf den Erwerb eines mentalen Kausalmodells? Ein weiterer Trainingsaspekt, der in dieser Studie adressiert werden soll, betrifft die Interaktion mit dem zu bedienenden System als Trainingswerkzeug. In der empirischen Studie 1 konnte hierüber keine Aussage getroffen werden, da die Systeminteraktion nur im Zuge der Testungsphase stattfand, nicht aber als integrativer Trainingsbestandteil. In Kapitel 5 wurde im Zuge der Beschreibung des Rahmenmodells zum Erwerb mentaler Kausalmodelle diskutiert, dass die Interaktion mit dem zu lernenden System ein wesentlicher Faktor ist, der an der Entstehung eines kausalen mentalen Modells beteiligt ist. In dieser Studie wird daher untersucht, welchen Einfluss die Systeminteraktion auf den Wissenserwerb hat.

6.2.1 Explorative Voruntersuchung: Auswahl des Versuchsmaterials

Für die Auswahl und Bewertung des visuellen Versuchsmaterials unter Gesichtspunkten der Nutzerfreundlichkeit sowie der Tauglichkeit für die Darstellung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen wurde im Vorfeld der Studie 2 eine explorative Expertenbefragung mit 18 Mitarbeitern des Zentrum Mensch-Maschine-Systeme durchgeführt. Die Experten wurden gebeten, verschiedene alternative Darstellungsformen im Hinblick auf ihre Brauchbarkeit für die Darstellung von Ursache-Wirkungsbeziehungen sowie anhand von weiteren Usability-Gestaltungskriterien (vgl. DZIDA et al., 2001; DIN ISO 9241.12) zu beurteilen (vgl. Anhang B.1). Die ausgewählte Darstellungsform ist der Abb. 6.2.1 zu entnehmen. Die Verbesserungen der Visualisierung gegenüber der empirischen Studie 1 betreffen zum einen die Struktur der Visualisierung. Waren in der Studie 1 die Systemkomponenten noch kreisförmig

angeordnet (vgl. Abb. 6.1.2), wurde anhand der Expertenbefragung die listenförmige Darstellungsvariante als am besten geeignet ermittelt. Weitere Änderungen der Darstellungsform betreffen die Richtungspfeile, die Informationen über die Wirkrichtung der Kausalbeziehung liefern sowie die Vorzeichen als Indikatoren für die Qualität der Wirkungsbeziehung. Wie in der empirischen Studie 1 bereits realisiert, wurde auch in dieser Studie die Farbgebung beibehalten. Die aktuell beschriebenen Systemkomponenten sind jeweils farblich hervorgehoben und die übrigen Systemkomponente ausgegraut dargestellt.

6.2.2 Methode

6.2.2.1 Stichprobe

An der Untersuchung nahmen 48 männliche Studenten der Technischen Universität Berlin im Alter von 20 bis 40 Jahren ($M=25,44$; $SD=5,54$) teil. Von diesen studierten etwas über die Hälfte ingenieurwissenschaftliche Studiengänge. Die Übrigen waren Studenten der Informatik und der Naturwissenschaften sowie weniger als 5% Studenten anderer Studiengänge.

6.2.2.2 Versuchsmaterial

6.2.2.2.1 ManuCAMS 2.0

Die Version von ManuCAMS 2.0 diente auch in dieser Studie als Versuchsumgebung. Eine Beschreibung dieser Versuchsumgebung findet sich in Kapitel 6.1.1.2.1. Die Aufgabe der Probanden war es, über einen Zeitraum von 10 Minuten eine manuelle Regelungsaufgabe auszuführen.

6.2.2.2.2 Trainingsdesign

Für die empirische Überprüfung der Fragestellungen wurden zwei computerbasierte Trainingsvarianten entwickelt: Trainingsvariante 1 beinhaltet die Visualisierung von Kausalinformation. Die Trainingsvariante 2 besteht in einem rein textbasierten Training (vgl. Anhang B.2). Die computerbasierten Trainingsvarianten lassen sich in Anlehnung an die Studie 1 ebenfalls in drei Phasen untergliedern. In Phase 1 wurde den Probanden das System ManuCAMS 2.0 vorgestellt. In einer vertiefenden Wissensvermittlungsphase erhielten die

Probanden Informationen über die Subsysteme von ManuCAMS 2.0 sowie deren Verbindungen zu den anderen Systemkomponenten. Für beide Trainingsgruppen war die textbasierte Information identisch. Probanden der Visualisierungs-Bedingung erhielten zudem visuelle Informationen über die Beziehungen zwischen den Systemkomponenten. Abb. 6.2.1 zeigt beispielhaft für die Komponente Temperatur die implementierte Visualisierungsform. Auch bei dieser Visualisierungsvariante wurde das Kontiguitätsprinzip (vgl. MAYER & MORENO, 2003) angewendet.

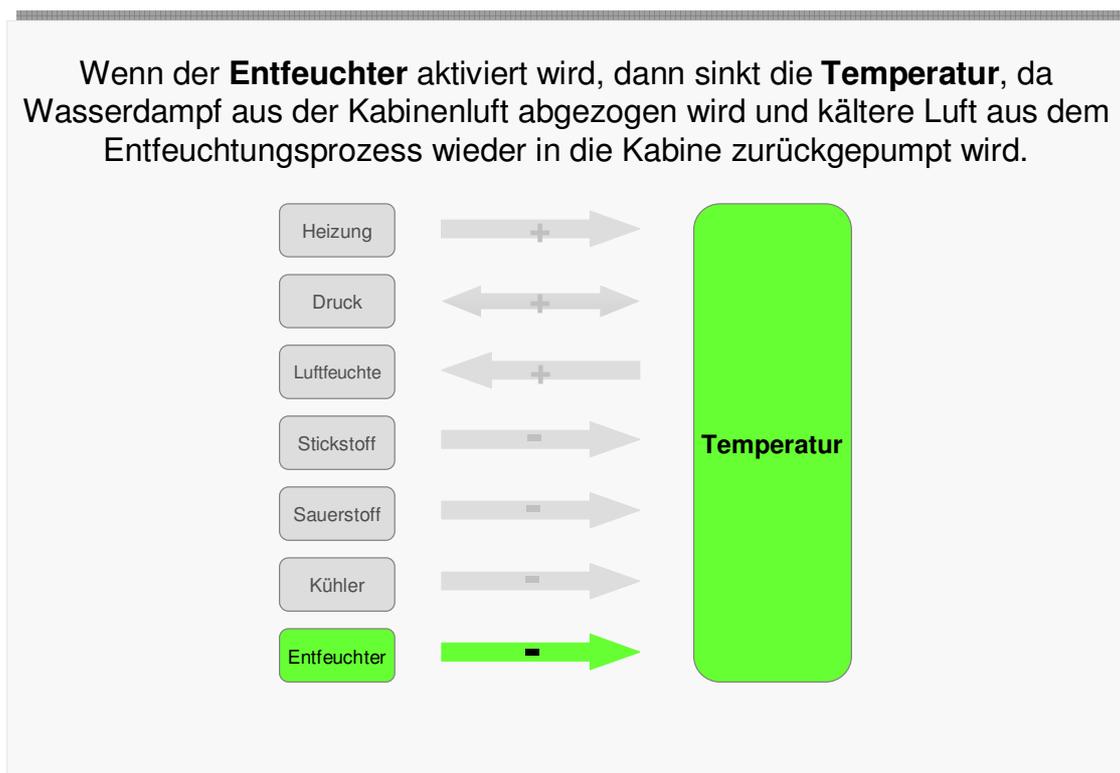


Abbildung 6.2.1: Screenshot der Visualisierungs-Bedingung für Studie 2

In Trainingsphase 2 wurden die Anzeigen an der Benutzungsschnittstelle sowie in Phase 3 die möglichen Bedieneingriffe in das System erläutert. Trainingsphasen 2 und 3 waren für beide Trainingsvarianten identisch. Die Variationen betrafen lediglich den Abschnitt 1.

6.2.2.3 Unabhängige Variablen und Design

In dieser Studie wurden zwei unabhängige Variablen untersucht: (1) das Training mit oder ohne Visualisierung von Kausalinformation sowie (2) der Zeitpunkt der Systeminteraktion mit ManuCAMS 2.0. Da jeder der Faktoren zwei Faktorstufen hat, wurden insgesamt vier Kombinationen untersucht. Tabelle 6.2.1 veranschaulicht das in dieser Studie realisierte 2x2 faktorielle Between-Design.

Tabelle 6.2.1: 2x2 faktorielles Untersuchungsdesign der empirischen Studie 2

Training	Zeitpunkt der Systeminteraktion	
	Interaktion vor Wissensdiagnose	Interaktion nach Wissensdiagnose
Visualisierungstraining	n=11	n=12
Textbasiertes Training	n=12	n=12

6.2.2.4 Abhängige Variablen

Auch in dieser Untersuchung wurde die Güte des mentalen Kausalmodells über Leistungsindikatoren der Systemsteuerung und des Wissenstests ermittelt. Zur Ermittlung von Indikatoren der Güte des Wissens wurde ein Wissensfragebogen eingesetzt. Zur Ermittlung der Güte der Systemsteuerung dienten die in Studie 1 verwendeten Leistungsparameter, die auch in dieser Studie aus den AutoCAMS Logfiles extrahiert wurden.

6.2.2.4.1 Maße für die Güte des Wissens

Ein Wissensfragebogen mit drei Fragekategorien wurde eingesetzt, um die Leistungen der Probanden zu bestimmen:

(1) Fragen zum Systemwissen beinhalten das explizierbare Wissen über die Eigenschaften des Systems, d.h. alles Wissen über Systemkomponenten, ihre strukturelle Organisation sowie spezifischen Eigenschaften. Beispielsweise wurden die Probanden gebeten, alle am Subsystem Sauerstoff beteiligten Komponenten aufzulisten.

(2) Fragen zum Funktionswissen beinhalten alles Wissen über die Ursache-Wirkungs-Beziehungen innerhalb des Systems. So wurden die Probanden beispielsweise gebeten, mögliche Gründe für ein Absinken des Kabinendrucks zu erklären.

(3) Fragen zum kombinierten System- und Funktionswissen. Bei diesem Fragetyp wurden die Probanden gebeten, die Subsysteme und ihre Beziehungen untereinander vor dem Hintergrund zu beschreiben, dass es regelmäßige Schwankungen der Parameter gibt. Zur Beantwortung dieser Frage war sowohl Wissen über Eigenschaften der Komponenten als auch Wissen über Ursache-Wirkungs-Beziehungen notwendig.

Der vollständige Fragebogen ist dem Anhang B.3 zu entnehmen.

6.2.2.4.2 Maße für die Güte der Systemsteuerung

Zwei Leistungsindikatoren geben Aufschluss darüber, inwieweit die Probanden dazu in der Lage sind, die vier vorgegebenen Prozessparameter manuell zu regeln.

Leistung grüner Bereich: eine optimale Kontrollleistung ist dann erreicht, wenn es die Probanden schaffen, alle vier Parameter während der gesamten Testungszeit innerhalb des grünen Bereichs zu halten (vgl. Abb. 6.2.2).

Leistung roter Bereich: eine normale Kontrollleistung ist dann erreicht, wenn alle Parameter während der gesamten Testungszeit innerhalb der Begrenzung durch die roten Linien gehalten werden.

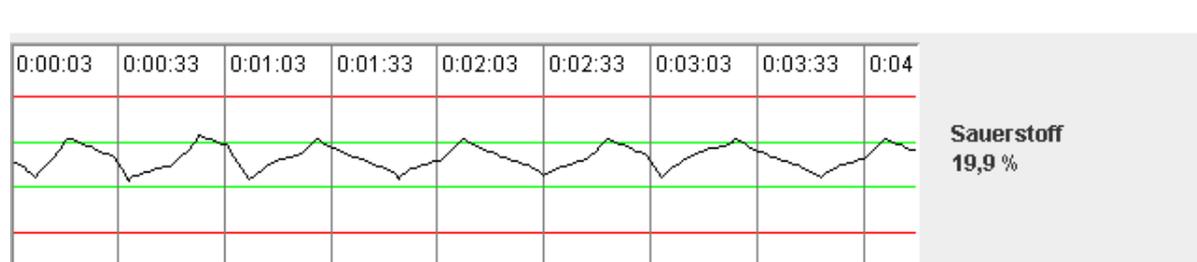


Abbildung 6.2.2: Ausschnitt aus dem Verlaufsdisplay der AutoCAMS 2.0 Oberfläche

6.2.2.4.3. Moderierende Variablen

Als moderierende Variablen wurden auch in dieser Untersuchung das technische und naturwissenschaftliche Vorwissen der Probanden sowie die Präferenz für Text-, Bild- und Sprachlernen anhand eines demographischen Fragebogens (vgl. Anhang B.3) ermittelt. Da in der vorausgehenden Studie keine Zusammenhänge der Ergebnisse mit dem Konzentrationsvermögen, erhoben über das Frankfurter Aufmerksamkeitsinventar (MOOSBRÜGGER & OEHLSCHEGL, 1996) nachgewiesen werden konnten, wurde in dieser Studie darauf verzichtet, diese Daten zu erheben.

6.2.2.5 Hypothesen

Die im Folgenden vorgestellten Hypothesen repräsentieren die Alternativhypothese, H1. Folgende Hypothesen zu Haupteffekten lassen sich aus den eingangs vorgestellten Fragen ableiten:

H1: Probanden der Visualisierungsbedingung erzielen bessere Wissens- und Regelungsleistungen als Probanden der textbasierten Trainingsbedingung.

H2: Probanden mit einer Systeminteraktion vor der Wissensdiagnose erzielen bessere Wissensleistungen als Probanden mit einer Systeminteraktion nach der Wissensdiagnose.

Interaktionshypothese:

H3: Probanden der Visualisierungsbedingung profitieren von der Systeminteraktion und erzielen daher bessere Leistungen im Wissenstest als Probanden der textbasierten Trainingsvariante.

6.2.2.6 Versuchsablauf

Die Untersuchung fand im Gruppenlabor des Zentrum Mensch-Maschine-Systeme an der Technischen Universität Berlin statt. Ein Versuchsdurchlauf nahm zwischen 120 und 150 Minuten Zeit in Anspruch. Die Versuchsteilnehmer wurden einer der vier experimentellen Bedingungen zugewiesen. Der Versuch war ebenfalls wieder in drei Teile unterteilt. In Teil 1 der Untersuchung wurden die Probanden gebeten, einen demographischen Fragebogen auszufüllen. In Teil 2 der Untersuchung, der eigentlichen Trainingsphase, erhielten die Probanden ein computerbasiertes Training (entweder mit Visualisierung oder textbasiert). Tabelle 6.2.2 veranschaulicht den Ablauf von Trainings- und Testeinheiten für die Experimentalgruppen. In Teil 3 der Untersuchung wurden die Probanden der einen Gruppe gebeten, einen Wissensfragebogen mit Fragen zu den Systemzusammenhängen auszufüllen. Im Anschluss daran erhielten sie die Aufgabe, die Simulation ManuCAMS 2.0 für einen Zeitraum von 10 Minuten manuell zu regeln. Probanden der Gruppe 2 erhielten zunächst die Instruktion, die Simulation ManuCAMS 2.0 für einen Zeitraum von 10 Minuten manuell zu regeln. Im Anschluss daran wurden sie gebeten, einen Wissensfragebogen mit Fragen zu den Systemzusammenhängen auszufüllen.

Tabelle 6.2.2: Übersicht über den Versuchsablauf der empirischen Studie 2

	Ablauf Gruppe 1	Ablauf Gruppe 2
Teil 1: Einführung	Instruktionen Fragebogen zu demographischen Daten Fragen zu naturwissenschaftlichem und technischem Vorwissen	
Teil 2: Training	AutoCAMS – Training (1) Visualisierungsvariante (2) Textbasierte Variante	
Teil 3: Testung	Wissensfragebogen Manuelle Regelungsaufgabe	Manuelle Regelungsaufgabe Wissensfragebogen

6.2.2.6 Datenaufbereitung

Die Datenaufbereitung für die Performanzdaten erfolgte anhand eines von Röttger entwickelten Auswertungsskriptes mit der Software SciLab (RÖTTGER et al., 2007). Die Datenaufbereitung der Wissensfragen erfolgte anhand eines Referenzbogens (vgl. Anhang B.4). Für jeden Fragetyp des Wissensfragebogens wurden die richtigen Antworten mit dem Referenzbogen abgeglichen und die erreichte Punktzahl bestimmt. Die erreichte Punktzahl wurde für jeden Fragetyp zu einem Leistungs-Score aggregiert. Die weitere Auswertung der Performanz- und Wissensdaten erfolgte mit der Auswertungssoftware SPSS 15.0.

6.2.3 Ergebnisse

6.2.3.1 Ergebnisse der Wissensanalyse

Der Wissensfragebogen beinhaltet Fragen zu drei Kategorien: (1) Systemwissen, (2) Funktionswissen und (3) kombiniertes System- und Funktionswissen. Die varianzanalytische Auswertung erfolgte multivariat für diese drei Fragekategorien. Eine Übersicht über die Ergebnisse aller Analysen von Studie 2 ist dem Anhang B.5 zu entnehmen.

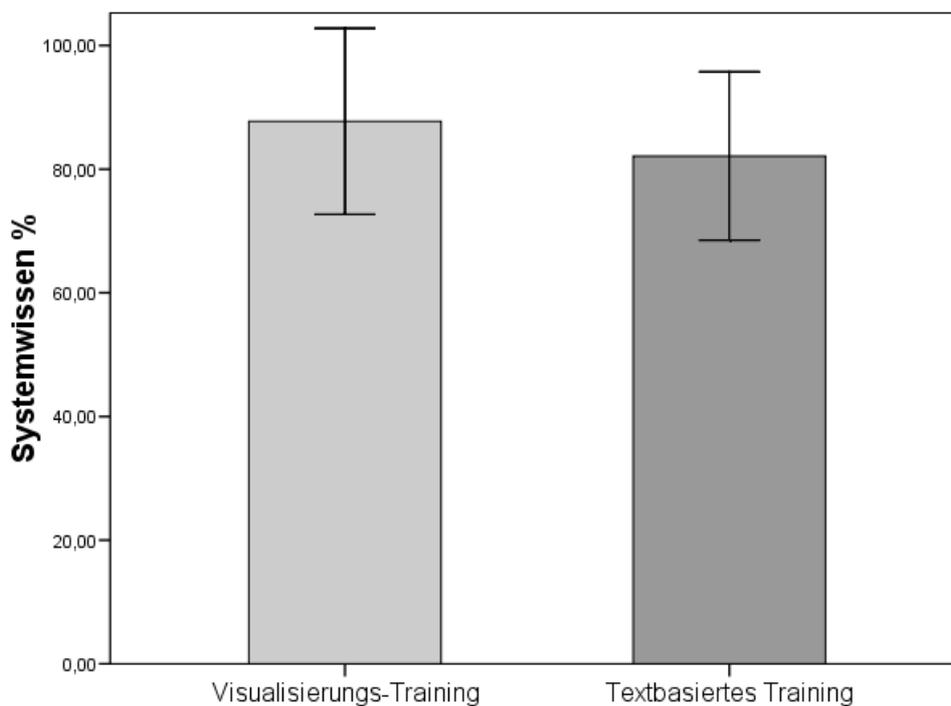


Abbildung 6.2.3: Mittelwerte und Standardabweichungen (SD +/- 2) für den Faktor Training

Die varianzanalytische Auswertung ergibt einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Training ($F_{1,43}= 7.313$; $p=.010$; $\eta^2=.145$). In der Abbildung 6.2.3 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen dargestellt. Probanden, die mit der Visualisierungsbedingung trainiert wurden, erzielten bessere Ergebnisse im Systemwissen ($M = 48.26$; $SD = 4.14$) als Probanden, die mit der textbasierten Trainingsvariante lernten ($M = 45.17$; $SD = 3.75$).

Tabelle 6.2.3: Mittelwerte und Standardabweichungen für den Wissensfragebogen

Training	Systeminteraktion	System-Wissen		Funktions-Wissen		Bereichs-wissen		N
		M	SD	M	SD	M	SD	
Visualisierung	vor Wissensdiagnose	47.73	3.85	63.64	1.91	49.73	3.5	11
	nach Wissensdiagnose	48.75	4.49	60.58	4.98	50.33	2.96	12
	<i>Gesamt</i>	48.26	4.14	62.04	4.06	50.04	3.17	23
Textbasiert	vor Wissensdiagnose	43.83	3.64	53.25	4.61	45.67	5.23	12
	nach Wissensdiagnose	46.5	3.5	57.17	5.15	48.5	2.5	12
	<i>Gesamt</i>	45.17	3.75	55.21	5.18	47.08	4.26	24
Gesamt	vor Wissensdiagnose	45.7	4.16	58.22	6.36	47.61	4.83	23
	nach Wissensdiagnose	47.63	4.11	58.88	5.25	49.42	2.84	24
	<i>Gesamt</i>	46.68	4.2	58.55	5.77	48.53	4.02	47

Die varianzanalytische Auswertung ergibt einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Training ($F_{1,44}=28.767$; $p=.000$; $\eta^2=.362$).

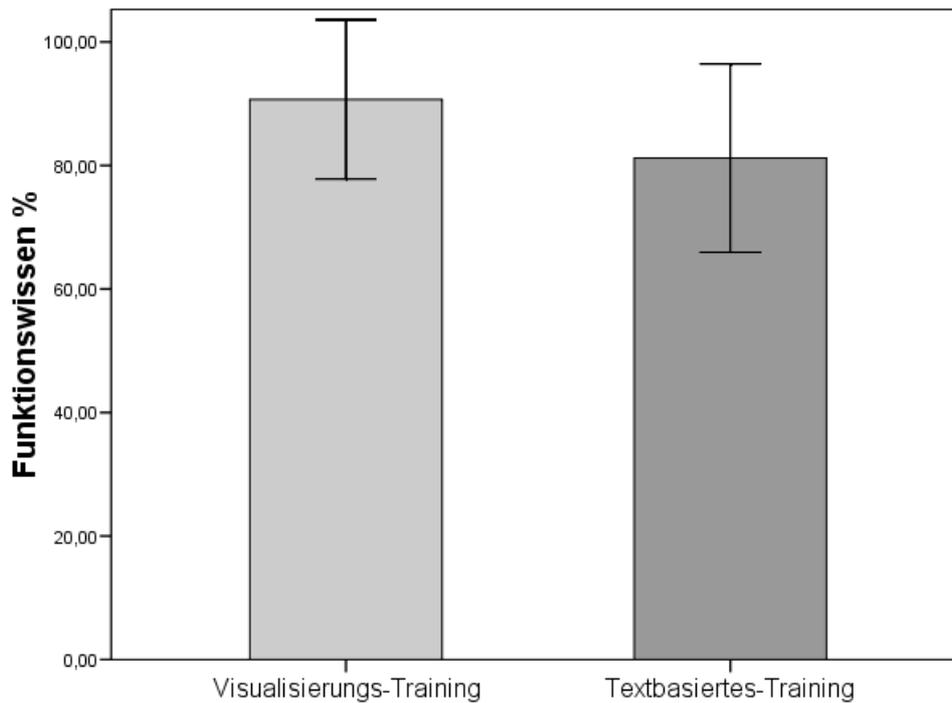


Abbildung 6.2.4: Ergebnisse zum Funktionswissen

Die deskriptive Betrachtung der Mittelwerte (vgl. Tabelle 6.2.3) zeigt für die Fragebogenbearbeitung eine bessere Leistung der Probanden der Visualisierungsvariante ($M = 62.04$; $SD = 4.06$) gegenüber den Probanden der textbasierten Trainingsvariante ($M = 55.21$; $SD = 5.18$).

Die statistische Analyse für die Kombination aus Funktions- und Systemwissen (d.h. Bereichswissen) zeigt einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Training ($F_{1,43} = 7.445$; $p = .009$; $\eta^2 = .148$). Hier zeigt sich deskriptiv eine bessere Leistung für die mit Visualisierung Trainierten ($M = 50.04$; $SD = 3.17$) gegenüber den mit Text Trainierten ($M = 47.08$; $SD = 4.26$).

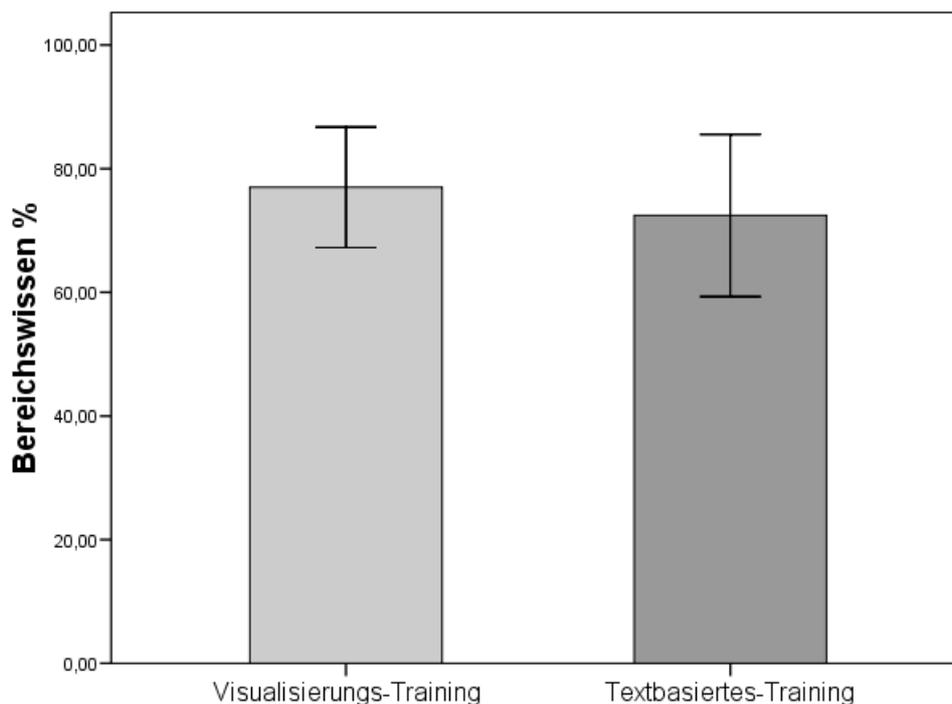


Abbildung 6.2.5: Ergebnisse zum kombinierten System- und Funktionswissen (Bereichswissen)

Die varianzanalytische Auswertung für den Hauptfaktor Zeitpunkt der Systeminteraktion (vgl. Tabelle 6.2.4) zeigt für keinen der Wissensbereiche einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen ($F_{1,43} = 2.637$; $p > .05$; $\eta^2 = .058$; $F_{1,43} = .113$; $p > .05$; $\eta^2 = .003$; $F_{1,43} = 2.535$; $p > .05$; $\eta^2 = .056$).

Tabelle 6.2.4: Ergebnisse der MANOVA - Berechnungen für die Güte des Wissens

	Wissensleistung	df	F	p	η^2
Training	Systemwissen	1	7.313	0.010	0.145
	Funktionswissen	1	28.767	0.000	0.401
	Bereichswissen	1	7.445	0.009	0.148
Zeitpunkt Wissensdiagnose	Systemwissen	1	2.637	0.112	0.058
	Funktionswissen	1	0.113	0.739	0.003
	Bereichswissen	1	2.535	0.119	0.056
Training * CAMS	Systemwissen	1	0.524	0.473	0.012
	Funktionswissen	1	7.335	0.010	0.146
	Bereichswissen	1	1.063	0.308	0.024
Fehler	Systemwissen	43			
	Funktionswissen	43			
	Bereichswissen	43			

Die statistische Auswertung ergibt einen signifikanten Interaktionseffekt für die Faktoren Training und Zeitpunkt der Systeminteraktion ($F_{1,43} = 7.335$; $p = .010$; $\eta^2 = .146$). Das Interaktionsdiagramm in Abbildung 6.2.6 veranschaulicht, dass die mit Visualisierung trainierten Probanden von der Systeminteraktion vor der Wissensdiagnose profitieren. Im Gegensatz dazu scheint die Systeminteraktion vor der Wissensdiagnose für die mit der textbasierten Version trainierten Probanden von Nachteil zu sein. Diese Gruppe erzielt bessere Werte im Wissensfragebogen, wenn dieser ihnen direkt im Anschluss an das Training präsentiert wird.

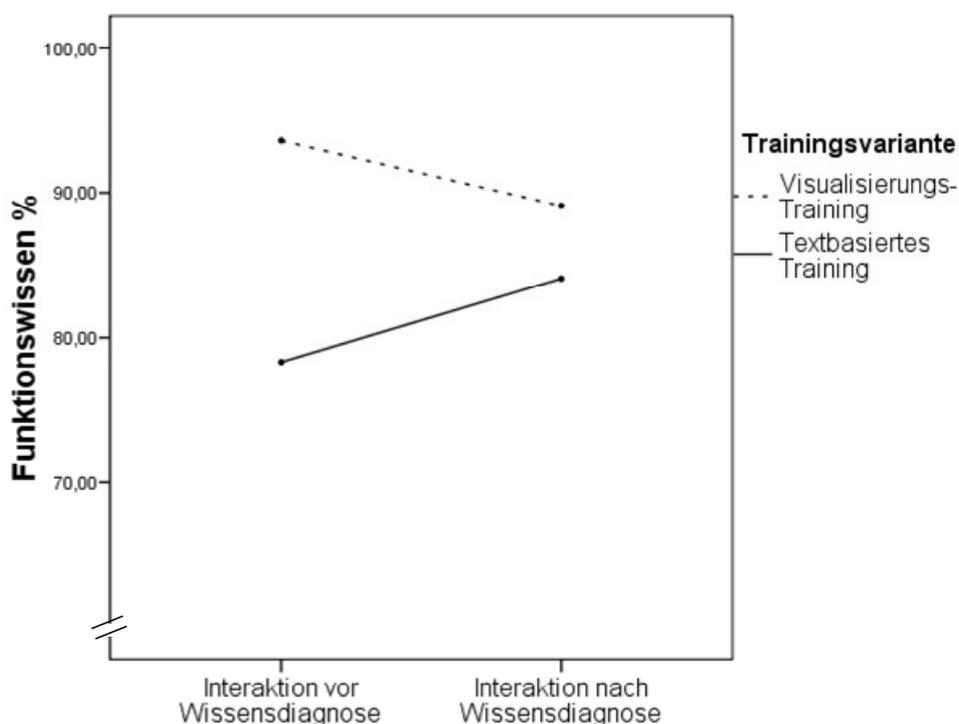


Abbildung 6.2.6: Interaktionseffekt für Training und Zeitpunkt der CAMS-Interaktion

Die Analysen zur Absicherung der Interaktion (vgl. Tabelle 6.2.5) ergeben signifikante Unterschiede für die Bedingung Visualisierungstraining mit einer Interaktion vor der Wissensdiagnose und die Bedingung Textbasiertes Training mit einer Interaktion vor der Wissensdiagnose ($p=.000$) sowie für die Bedingung Visualisierungstraining mit einer Interaktion vor der Wissensdiagnose und die Bedingung Textbasiertes Training mit einer Interaktion nach der Wissensdiagnose ($p=.005$). Ebenso zeigen sich signifikante Unterschiede im Einzelvergleich zwischen der Bedingung Visualisierungstraining mit einer Interaktion nach der Wissensdiagnose und der Bedingung Textbasiertes Training mit einer Interaktion vor der Wissensdiagnose. Auch der Einzelvergleich zwischen den Bedingungen Textbasiertes Trai-

ning mit einer Interaktion vor der Wissensdiagnose und der Bedingung Visualisierungstraining mit einer Interaktion vor der Wissensdiagnose wird signifikant.

Tabelle 6.2.5: Posthoc- Analysen für den Interaktionseffekt

(I) Kombination	(J) Kombination	Mittl. Diff. (I-J)	p
Visualisierung + Interaktion	Visualisierung, Wissensdiagnose	2.1667	0.257
	Textbasiert, Interaktion	9.5000(*)	0.000
	Textbasiert, Wissensdiagnose	5.5833(*)	0.005
Visualisierung + Wissensdiagnose	Visualisierung, Systeminteraktion	-2.1667	0.257
	Textbasiert, Interaktion	7.3333(*)	0.000
	Textbasiert, Wissensdiagnose	3.4167	0.077
Textbasiert + Interaktion	Visualisierung, Interaktion	-9.5000(*)	0.000
	Visualisierung, Wissensdiagnose	-7.3333(*)	0.000
	Textbasiert, Wissensdiagnose	-3.9167(*)	0.044
Textbasiert + Wissensdiagnose	Visualisierung, Interaktion	-5.5833(*)	0.005
	Visualisierung, Wissensdiagnose	-3.4167	0.077
	Textbasiert, Interaktion	3.9167(*)	0.044

6.2.3.2 Ergebnisse zur Güte der Systemsteuerung

Tabelle 6.2.6 gibt einen Überblick über die Mittelwerte und Standardabweichungen für den Hauptfaktor Training.

Tabelle 6.2.6: Mittelwerte und Standardabweichungen für den Faktor Training

Performanz	Training	M	SD
Grüner Bereich	Visualisierungstraining	19.83	13.9
	Textbasiertes Training	14.4	12.5
Roter Bereich	Visualisierungstraining	70.93	23.43
	Textbasiertes Training	55.17	23.07

Die varianzanalytische Überprüfung zeigt für den Indikator roter Bereich einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Training ($F_{1,44} = 5.459$; $p = .024$; $\eta^2 = .110$). Die deskriptive Betrachtung der Ergebnisse zeigt für den Indikator roter Bereich eine deutlich bessere Steuerungsleistung für die mit Visualisierung Trainierten ($M=70.93$; $SD = 23.43$) als für die mit der textbasierten Variante Trainierten ($M = 55.17$; $SD = 23.07$). Die Ergebnisse für die weiteren Performanzindikatoren sind in der varianzanalytischen Auswertung (vgl. Anhang

B.5) allerdings nicht signifikant ($F_{1,44} = 1.946$; $p > .05$; ns; $F_{1,44} = 2.660$; $p > .05$; ns; $F_{1,44} = 2.705$; $p > .05$; ns).

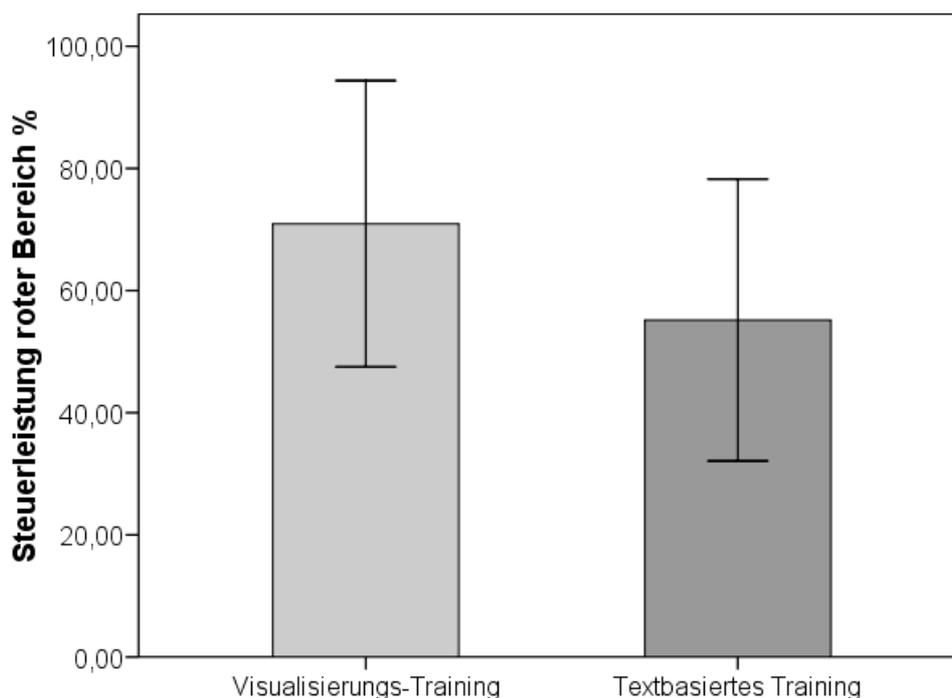


Abbildung 6.2.7: Ergebnisse für den Indikator Leistung roter Bereich / Hauptfaktor Training (+/-1SD)

Die deskriptiven Ergebnisse für den Faktor Zeitpunkt der Systeminteraktion sind der Tabelle 6.2.7 zu entnehmen. Die statistischen Analysen der Indikatoren (vgl. Tabelle 6.2.7) zeigen keine signifikanten Haupteffekte für den Faktor Zeitpunkt der Systeminteraktion ($F_{1,44} = .075$; $p > .05$; ns; $F_{1,44} = 0.559$; $p > .05$; ns; $F_{1,44} = 0.525$; $p > .05$; ns; $F_{1,44} = 0.615$; $p > .05$; ns). Die Interaktionseffekte für Training und Zeitpunkt der Systeminteraktion sind ebenfalls nicht signifikant (vgl. Anhang B.5).

Tabelle 6.2.7: Mittelwerte und Standardabweichungen für den Faktor Zeitpunkt der Systeminteraktion

Zeitpunkt der Systeminteraktion	Grüner Bereich		Roter Bereich	
	M	SD	M	SD
Vor der Wissensdiagnose	17.64	10.28	56.58	23.61
Nach der Wissensdiagnose	16.58	16.07	60.53	25.3

6.2.3.3 Einflüsse der Moderatorvariablen

Es zeigen sich weder signifikante Korrelationen zwischen dem technischen und naturwissenschaftlichen Vorwissen und den abhängigen Variablen, noch signifikante Korrelationen

zwischen den Lernpräferenzen und den abhängigen Variablen. Die Ergebnisse zu den Korrelationen der Moderatorvariablen mit den abhängigen Variablen sind dem Anhang B.5 zu entnehmen.

6.2.4 Diskussion und Zusammenfassung der Ergebnisse

6.2.4.1 Der Einfluss von Visualisierung und textbasiertem Training

Die Ergebnisse der empirischen Studie 2 unterstützen die Hypothese H1 „Probanden der Visualisierungsbedingung erzielten bessere Wissens- und Regelungsleistungen als Probanden der textbasierten Trainingsbedingung“. Es konnte gezeigt werden, dass die Probanden von der gewählten Visualisierungsvariante zur Unterstützung der Kausalinformation profitierten. So zeigten diejenigen Probanden, die mit der Visualisierungsvariante trainiert wurden, in allen drei abgefragten Wissensbereichen bessere Leistungen als die Probanden, die mit der textbasierten Trainingsform trainiert wurden. Vor allem in Bezug auf den Erwerb von Ursache-Wirkungs-Wissen scheinen die Ergebnisse im Vergleich zur ersten empirischen Studie vielversprechend. Zusammengefasst stellt die gewählte Form der Visualisierung von Kausalinformation ein brauchbares Werkzeug für die Vermittlung von unterschiedlichen Wissensformen in computerbasierten Trainings dar. Die Überlegenheit der Visualisierungsbedingung zeigt sich ebenfalls bei den Leistungsindikatoren. Die Probanden der Visualisierungsbedingung erzielten bessere Leistungen in der Systeminteraktion. Die Ergebnisse für den Performanzindikator *Leistung roter Bereich* zeigen eine bessere Leistung für die mit der Visualisierung Trainierten gegenüber den textbasiert Trainierten. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Bildlerner in Bezug auf den Erwerb von Wissen zur Steuerung des Systems ebenfalls von der Visualisierung der Kausalinformation profitieren. Die sorgfältige Auswahl des Trainingsmaterials, die ausdrücklich zum Ziel hatte, brauchbares Bildmaterial für die Darstellung von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen zu vermitteln, scheint in diesem Zusammenhang einen positiven Einfluss ausgeübt zu haben.

6.2.4.2 Der Einfluss des Zeitpunktes der Systeminteraktion

Keine der Analysen, bezogen auf den Zeitpunkt der Systeminteraktion, ergab signifikante Unterschiede in der Wissensleistung. Die Hypothese H2 „Probanden mit einer Systeminteraktion vor der Wissensdiagnose erzielten bessere Wissensleistungen als Probanden mit einer Systeminteraktion nach der Wissensdiagnose“ muss daher auf der Grundlage der vorliegen-

den Ergebnisse falsifiziert werden. Es scheint demnach keinen generellen Vorteil in der zeitlich vorausgehenden Systeminteraktion für den Wissenserwerb zu geben. Über alle Trainingsbedingungen hinweg scheinen die Probanden demnach nicht von einer Systeminteraktion im Vorfeld der Wissensdiagnose zu profitieren.

Eine nähere Betrachtung der Ergebnisse zum Interaktionseffekt von Trainingsbedingung und Zeitpunkt der Systeminteraktion bietet möglicherweise eine Erklärung für die fehlenden Unterschiede. Die Ergebnisse unterstützen die Interaktionshypothese 3: „Probanden der Visualisierungsbedingung profitieren von der Systeminteraktion und erzielen daher bessere Leistungen im Wissenstest als Probanden der textbasierten Trainingsvariante“. Der signifikante Interaktionseffekt für Training und Zeitpunkt der Systeminteraktion zeigt, dass Textlerner bessere Ergebnisse in der Wissensdiagnose erzielen, wenn sie sofort im Anschluss an das Training den Wissensfragebogen bearbeiten. Die Bildlerner hingegen profitieren von der Systeminteraktion im Vorfeld der Wissensdiagnose. Für diesen Effekt lassen sich zwei mögliche Erklärungen aufzeigen. Eine Erklärung für den Unterschied könnte darin liegen, dass die Lerner mit der Visualisierungsbedingung während des Trainings eine Struktur erworben haben, die zu einem besseren Wissen darüber führte, wie das System funktioniert und wie es zu bedienen ist. Diese Form der Visualisierung scheint demnach angemessen für die Vermittlung des aufgabenrelevanten Wissens zu sein (vgl. SCHNOTZ & BANNERT, 2003). Der Vorteil der Kombination von Systeminteraktion und Visualisierung könnte darin liegen, dass in diesem Fall die Systeminteraktion die Konsolidierung des Wissens gefördert hat. Es kann gefolgert werden, dass die in dieser Studie implementierte Kombination von Bildern und sich an die Wissensvermittlung anschließende Systeminteraktion eine angemessene Strategie ist, um den Erwerb von mentalen Kausalmodellen zu fördern. Im Gegensatz dazu könnte die Interaktion mit dem System den Wissensaufbau der textbasiert Lernenden gestört und dazu geführt haben, dass diese Probanden keine angemessene Struktur erwerben konnten und somit durch die Systeminteraktion in ihrem Wissen verunsichert wurden. Eine weitere mögliche Erklärung könnte darin liegen, dass ein Gedächtniseffekt vorliegt. Erfahrungen aus der Systeminteraktion konnten nicht in die Informationen aus dem Texttraining integriert werden. Die Zeit bis zum Wissenstest ist aber länger, und mehr Informationen sind aufgrund der längeren Zeit und der Ablenkung vergessen worden. Der Interaktionseffekt könnte schließlich dahingehend interpretiert werden, dass das textbasierte Training eher den unmittelbaren Abruf von Faktenwissen zu fördern scheint, als dass es über einen längeren Zeitraum hinweg erinnert werden kann. Möglicherweise ist die schlechtere Leistung der Textlerner auch dar-

auf zurückzuführen, dass diese Trainingsversion das Auswendiglernen gefördert hat. Dieses Auswendiglernen ist in dem Fall, dass sofort im Anschluss an das Training die Systeminteraktion stattfand, unterbunden worden und könnte somit zu einer schlechteren Wissensleistung der Textlerner geführt haben. Schließlich sei noch auf die Schwierigkeit im Rahmen von Trainingsexperimenten verwiesen, dass Unterschiede zwischen Trainingsgruppen häufig vielfältige Ursachen haben und keine eindeutigen Rückschlüsse darüber zulassen, welche Trainingsfaktoren zu welchen Leistungserfolgen geführt haben (DUTKE, 1998). So weisen auch die in Kapitel 4.2.3 berichteten Studien zwar allgemein auf einen Vorteil der explorierenden Trainingsstrategien hin, allerdings geben sie nur wenige sichere Hinweise über den Zusammenhang zwischen explorierendem Lernen und der Güte des erworbenen mentalen Modells (vgl. DUTKE, 1998, S. 152).

Abschließend lassen sich die Ergebnisse der empirischen Studie 2 dahingehend zusammenfassen, dass eine Visualisierung von Kausalinformation geeignet ist, um den Erwerb mentaler Kausalmodelle zu fördern (vgl. KLOSTERMANN & THÜRING, 2007a, 2008). Die hier untersuchte Visualisierungsform wird daher in nachfolgende Trainingskonzeptionen aufgenommen. Ferner konnte gezeigt werden, dass ein Training mit der Systeminteraktion als Trainingseinheit in Verbindung mit der Visualisierung von Informationen eine erfolgreiche Wissensvermittlungsstrategie ist. Daher sollte auch dies in folgende Trainingskonzeptionen aufgenommen werden. Die Ergebnisse dieser Studie geben ebenfalls erste Hinweise auf den Nutzen der Systeminteraktion als Bestandteil eines computerbasierten Trainings. Der Trainingsbaustein 2: Envisioning und Experimentieren umfasst zusätzlich zu dem hier untersuchten Teilaspekt des Experimentierens die Anleitung von Envisioning-Prozessen als Trainingsbaustein. In welcher Form und mit welchem Erfolg diese Trainingsstrategie im Rahmen von computerbasierten Trainings eingesetzt werden kann, um den Erwerb von mentalen Kausalmodellen zu unterstützen, ist in einer dritten empirischen Studie untersucht worden.

6.3 Empirische Studie 3: Anleitung von Envisioning-Prozessen

Ziel der dritten empirischen Studie war es, den Einfluss von mentaler Simulation als Trainingswerkzeug auf den kausalen Wissenserwerb zu untersuchen. Der Schwerpunkt der empirischen Studie 3 liegt auf der Überprüfung der Umsetzung von Trainingsbausteinen 2: Envisioning und Experimentieren und 3: Simulation und Konsolidierung. Basierend auf den Vorüberlegungen zu möglichen Trainingsinhalten (vgl. Kapitel 4.2.5) werden in der Studie 3 Trainingsvarianten zur Vermittlung von Wissen unter anderem auch für Fehlerdiagnose- und Fehlermanagementtätigkeiten untersucht. In den Kapiteln 4 und 5 wurde die Notwendigkeit diskutiert, dass Operateure dahingehend qualifiziert werden müssen, sowohl bekannte Fehler diagnostizieren und beheben zu können, als auch neuartige Fehlersymptome zu analysieren. Die notwendigen Wissensvoraussetzungen hierfür entwickeln sie in der Interaktion mit dem System. Hieraus ergibt sich für die Studie 3 die Anforderung, die Wirksamkeit der Trainingsbausteine 2 und 3 nicht nur für den Umgang mit bekannten Systemzuständen und somit mit bekannten Fehlerszenarien, sondern darüber hinaus auch für die Leistung bei der Bearbeitung unbekannter Fehlerszenarien zu untersuchen. Die Bearbeitung bekannter Sachverhalte gelingt generell besser als die Bearbeitung neuer und unbekannter Sachverhalte. Dementsprechend wird auch in diesem Experiment davon ausgegangen, dass bekannte Fehlerszenarien von den Lernenden besser bearbeitet werden können als unbekannte Fehlerszenarien. Die Diagnose und Behebung sowohl von bekannten als auch von unbekanntem Fehlern sind von der Kompetenz des Systembedieners abhängig. Ein guter Systembediener zeichnet sich durch das Vorhandensein von adäquaten Wissensstrukturen und Handlungsprogrammen aus. Dies resultiert in der Entdeckung vieler im System auftretender Fehler, in zügigen Fehlerdiagnosen sowie in einem ökonomischen Informationssuchverhalten (vgl. BERGMANN, 1999).

Um den Einfluss des angeleiteten Envisionings auf den kausalen Wissenserwerb sowie auf die Fehlerdiagnose- und Fehlermanagementfähigkeiten zu untersuchen, werden in der empirischen Studie 3 zwei Trainingsvarianten miteinander verglichen. Ein Envisioning-Training, in dessen Verlauf die Lernenden dazu angeleitet werden, die Systemzusammenhänge Schritt für Schritt mental zu simulieren, wird einem Experimentier-Training gegenübergestellt, in dem auf die Anleitung des Envisionings verzichtet und statt dessen ein reines Experimentieren instruiert wird.

In Kapitel 4 wurden die Ergebnisse von Studien zur Anleitung der mentalen Simulation berichtet. In diesem Zusammenhang wurde auf die Notwendigkeit hingewiesen, dass für den

Erfolg eines Envisioning-Trainings bei den Lernern bereits Vorwissen über den Lernstoff existieren muss. Dies wurde bei der Umsetzung der Anleitung zum Envisioning berücksichtigt. Im Verlauf des Trainings erwerben die Probanden dementsprechend zunächst Vorwissen über das zu lernende System und werden erst im späteren Verlauf des Trainings mit der Envisioning-Technik trainiert. Die Computersimulation AutoCAMS 2.0 diente auch in dieser Studie als Grundlage für Trainings- und Testzwecke. Mit der empirischen Studie 3 soll der Nachweis erbracht werden, dass die Anleitung eines Envisionings gemäß des in Kapitel 5 vorgestellten Trainingskonzepts einen positiven Nutzen für den Erwerb mentaler Kausalmodelle hat. Es wird davon ausgegangen, dass durch die Anleitung zum Envisioning ein vertiefter Wissenserwerbsprozess angeregt wird und dies in der Folge zu besseren Leistungen gegenüber einer Kontrollgruppe bei der Wissensdiagnose in den relevanten Wissensbereichen sowie bei der Bearbeitung von Aufgaben mit dem zu lernenden System führt.

6.3.1 Methode

6.3.1.1 Stichprobe

An der Untersuchung nahmen 34 Studenten der TU Berlin (30 Männer) teil. Die Probanden waren zwischen 19 und 34 Jahren alt ($M = 24,6$; $SD = 4,1$) und zu knapp 80% Studenten der Ingenieurwissenschaften. Die Übrigen studierten Naturwissenschaften oder Informatik. Sie unterschieden sich nicht signifikant in ihrer Fähigkeit, abstrakt zu denken (ermittelt über die Subskala 3 des LPS von HORN, 1983; $p > .05$) sowie in ihrem naturwissenschaftlichen und technischen Vorwissen (Selbsteinschätzung auf einer fünfstufigen Skala, siehe Anhang C.1; $p > .05$). Ein Proband musste von der weiteren statistischen Analyse ausgeschlossen werden, da er stark alkoholisiert zum Versuch erschien.

6.3.1.2 Versuchsmaterial

6.3.1.2.1 Die Simulation AutoCAMS 2.0

Die Simulation AutoCAMS 2.0 wurde als Versuchsumgebung für die Überprüfung der Trainingsstrategien verwendet. Da der Fokus in dieser Studie auf der Überprüfung der Trainingsstrategien für den Einfluss auf Fehlerdiagnose- und Fehlermanagementleistungen liegt, wurde die Vollversion der Simulation AutoCAMS 2.0 verwendet. Im folgenden Abschnitt werden diese Version sowie die Aufgaben des Operators ausführlicher beschrieben.

Das Display: Abb. 6.3.1 zeigt das Interface des AutoCAMS 2.0 für Aufgaben der Fehlerdiagnose und des Fehlermanagements, wie sie in Experiment 3 verwendet wurde. Auch hier befinden sich in den beiden Quadranten auf der linken Seite die schematische Übersicht (d.h. das Fließbild) und das Verlaufsdisplay. Im Gegensatz zur Version *ManuCAMS 2.0* ist dieses Verlaufsdisplay immer nur jeweils für einen Systemparameter aktiv und muss mit Mausklick auf den entsprechenden Reiter aktiviert werden.

Im rechten oberen Quadranten befinden sich die Steuerungsmenüs, die jeweils aufgeklickt werden müssen, um manuelle Eingaben tätigen zu können. In diesem Quadranten befindet sich ebenfalls die Information über die Systemzeit, ein Verbindungs-Check-Button sowie ein Feld für CO₂-Einträge und eine Übersicht über Standard-Stromstärken der Parameter. Außerdem findet der Operator hier Informationen über auftretende Systemfehler, gekennzeichnet durch den grünen (respektive roten) Alarm-Melder sowie eine Übersicht über mögliche Reparaturaufträge, die durch Mausklick auf das entsprechende Feld aufgerufen werden können. Im rechten unteren Quadranten findet der Operator Hinweise über auftretende Systemfehler und ihre Behebungen. Zusätzlich kann in AutoCAMS 2.0 ein Assistenzsystem zur Unterstützung der Fehlerdiagnose aktiviert werden. Diese Funktion wurde in den experimentellen Studien dieser Arbeit jedoch nicht eingesetzt.

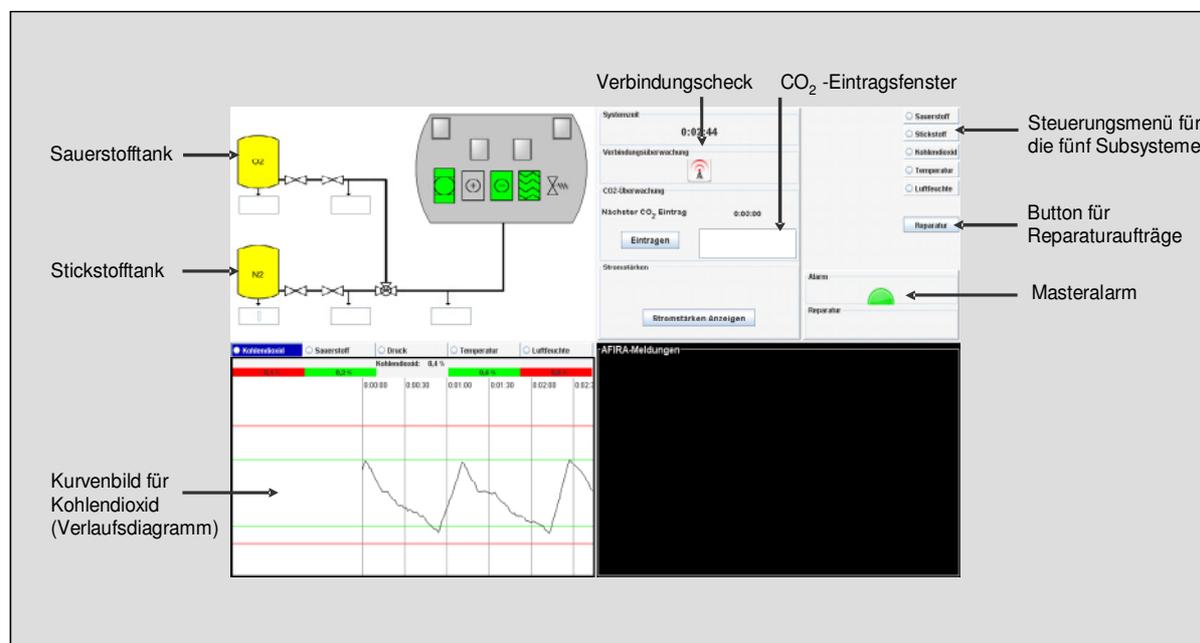


Abbildung 6.3.1: Screenshot des AutoCAMS 2.0 Displays

Die Aufgaben des Operators: Die Hauptaufgabe des Operators besteht darin, die automatische Regelung der fünf Subsysteme (Sauerstoff, Druck, Kohlendioxid, Temperatur,

Luftfeuchtigkeit) zu überwachen und in das System einzugreifen, sobald ein Fehler in der automatischen Regelung eines der Subsysteme auftritt. Jeder Fehler wird dem Operateur durch einen Masteralarm signalisiert (die Alarmanzeige springt von *grün* auf *rot* um). Der Operateur muss bei Fehlermeldungen lokalisieren, in welchem Subsystem die Störung aufgetreten ist und einen Fehler diagnostizieren. Für die Fehlerdiagnose kann der Operateur verschiedene Informationsquellen auf dem Interface abrufen. Zum einen kann er anhand der Verlaufsanzeigen Unregelmäßigkeiten in den Subsystemen erkennen. Hier erhält er Informationen darüber, ob sich alle Parameter innerhalb des Normbereichs befinden. Per Mausklick wählt der Operateur das ihn interessierende Subsystem aus und erhält für einen Zeitraum von 10 Sekunden Aufschluss über den aktuellen Zustand des Parameters sowie den Verlauf in den vergangenen drei Minuten. Zum anderen können Informationen über die Füllstände und Ventildurchflussraten des Sauerstoff- und des Drucksystems anhand des Fließbildes abgerufen werden. Auch hier muss der Operateur die entsprechend gekennzeichneten Felder mit der Maus anklicken, um die relevanten Informationen einholen zu können. Hat der Operateur den Fehler identifiziert, muss er einen Reparaturauftrag aus dem Wartungs-Menü auswählen und an die Kabinen-Crew absenden, damit diese den Auftrag ausführen kann. Die Reparatur nimmt 60 Sekunden in Anspruch. Während dieser Zeit muss der Operateur die Parameter des beschädigten Subsystems manuell regeln. Dies erfolgt über die Steuerungsmenüs. Ist der Reparaturauftrag korrekt, wird dies erneut durch den Masteralarm angezeigt (Farbwechsel zu *grün*). Wurde der falsche Reparaturauftrag abgeschickt, bleibt der Masteralarm so lange auf *rot* stehen, bis ein korrekter Reparaturauftrag abgeschickt wird.

Um die Vielfalt der Arbeitsaufgaben von Operateuren in komplexen Systemen etwas realitätsnäher abbilden zu können, bietet AutoCAMS 2.0 die Möglichkeit, zusätzliche Nebenaufgaben ausführen zu lassen. Neben der Hauptaufgabe der Fehlerdiagnose und des -managements muss der Operateur einerseits eine prospektive Gedächtnisaufgabe ausführen, in deren Rahmen er im Abstand von 60 Sekunden regelmäßig die CO₂-Konzentration überprüfen und in ein Log-Buch eintragen muss. Des Weiteren muss der Operateur in einer Reaktionszeitaufgabe in zufällig auftretenden Abständen eine Verbindungs-Check-Taste per Mausklick bedienen. Jeder Eingriff des Operateurs wird in einem Logfile aufgezeichnet. Dieses dient in der späteren Aufbereitung der Daten als Grundlage für die Auswertung von Informationssuchverhalten sowie Reaktionszeiten und Güte von Fehlerdiagnosen.

Die Simulation AutoCAMS 2.0 bietet die Möglichkeit, neun verschiedene Fehlerszenarien bearbeiten zu lassen. Diese Fehlerszenarien können entweder danach differenziert wer-

den, welches Subsystem sie betreffen (d.h. Sauerstoff, Druck, Kohlendioxid, Temperatur oder Luftfeuchtigkeit) oder danach, welches technische Problem zugrunde liegt (Leck, Blockierung, Automatikfehler). In der vorliegenden Studie wurden sechs Fehlerszenarien zu Testzwecken ausgewählt (vgl. Tabelle 6.3.1). Diese betreffen die Subsysteme Sauerstoff und Druck. Ein Leck kann entweder im Sauerstoff- oder im Drucksystem vorkommen. Hierbei entweicht Gas aus einem Leck des Rohrsystems. Eine Blockierung kann in beiden Subsystemen vorkommen.

Tabelle 6.3.1: Klassifizierung der verwendeten AutoCAMS 2.0 Fehlerszenarien

Fehlerszenario	Subsystem / Komponente	Technisches Problem	Bekannt
Leck im O ₂ -Ventil	Sauerstoff	Leck	Ja
Block im O ₂ -Ventil	Sauerstoff	Blockierung	Nein
Mixerblockierung	Sauerstoff und Druck	Blockierung	Ja
Sensorunterschreitung N ₂	Druck	Automatikfehler	Ja
Block im N ₂ -Ventil	Druck	Blockierung	Nein
Leck im N ₂ -Ventil	Druck	Leck	Nein

6.3.1.2.2 Die computerbasierten Trainingsvarianten

Zwei Trainingsvarianten sollen in einer empirischen Untersuchung miteinander verglichen werden. Ein Envisioning-Training mit der geführten Anleitung zu mentaler Simulation von Fehlerszenarien wurde in enger Anlehnung an die theoretischen Forderungen in Kapitel 5 entwickelt. Als Kontrollbedingung diente ein Experimentier-Training, in dem auf die Anleitung des Envisioning verzichtet und stattdessen die Interaktion mit dem System instruiert wurde. Die Trainingsgestaltung erfolgte auch in dieser Untersuchung in enger Anlehnung an die von HOCKEY et al. (1998), LORENZ et al. (2002) sowie MANZEY et al. (2008) und MANZEY, REICHENBACH & ONNASCH (2009) entwickelten CAMS- sowie AutoCAMS-Handbücher und Trainingsmaterialien. Dementsprechend war auch dieses Training in drei Hauptabschnitte untergliedert. Für beide Gruppen war das Vorgehen im ersten Trainingsabschnitt identisch (eine Auflistung der Trainingsschritte und Inhalte ist Anhang C.2 zu entnehmen):

In Trainingsphase 1 erhielten die Probanden eine allgemeine Einführung in die Simulation AutoCAMS 2.0. Die Darstellungen der Beziehungen zwischen den Subsystemen wurden entsprechend den Ergebnissen aus der empirischen Studie 2 visualisiert. In einem Probendurchlauf lernten die Probanden die Computersimulation und die Aufgaben der System-

überwachung und -bedienung im Normalbetrieb kennen. Während dieser Phase hatten die Probanden an einem zweiten Bildschirm fortlaufend die Möglichkeit, das System und die Bedienung und Überwachung der Systemkomponenten im Normalbetrieb zu explorieren. Trainingsphase 2 umfasste die allgemeine Einführung in Fehlerdiagnosen und Fehlermanagement. Hier lernten die Probanden allgemeine Prozeduren der Fehlerdiagnose sowie die Standardprozeduren des Fehlermanagements kennen. In Trainingsphase 3 erhielten die Probanden ein spezifisches Fehlerdiagnose- und Störungsmanagementtraining für fünf Fehler-szenarien. Hier unterschied sich das Vorgehen für die beiden Experimentalgruppen. Nach jeder Beschreibung eines der fünf Fehler-szenarien erhielten die Probanden in der Experimentier-Bedingung die Instruktion, den zuvor gelernten Fehler in der direkten Interaktion mit dem System zu erproben. Sie erhielten dafür folgende Instruktion:

„Gerade hast Du die Kennzeichen für ein Leck im O₂-Ventil kennen gelernt. Du wirst nun für einen Zeitraum von fünf Minuten das CAMS überwachen. In dieser Zeit wird irgendwann der Fehler „Leck im O₂-Ventil“ auftauchen. Wenn Du den Fehler identifiziert hast, dann kümmere Dich in erster Linie um das betroffene Subsystem. Die anderen Systeme kannst Du für die Zeit des Fehlermanagements der automatischen Regelung überlassen. Wenn der Fehler behoben ist, überwache auch wieder die anderen Subsysteme. Denke auch hier wieder an die anderen Aufgaben wie Verbindungs- und CO₂-Check!“

Probanden der Envisioning-Bedingung bearbeiteten ebenfalls alle fünf Fehler-szenarien. Allerdings wurden diese Probanden in einer Wissensvertiefungsphase zusätzlich vom Versuchsleiter systematisch angeleitet, die Fehler-szenarien, die Fehleranalyseschritte sowie notwendige Bedieneingriffe für das Störungsmanagement mental zu simulieren. Dabei ging der Versuchsleiter folgendermaßen vor: nachdem ein Proband ein Fehler-szenario am PC gelernt hatte, wurde er vom Versuchsleiter gebeten, das gerade gelernte Fehler-szenario noch einmal gedanklich durchzuspielen.

„Gerade hast Du die spezifischen Kennzeichen für ein Leck im O₂-Ventil und die Schritte der Fehlerbehebung kennen gelernt. Nun möchten wir Dich bitten, das eben Gelernte noch einmal Schritt für Schritt durchzuspielen. Der Versuchsleiter wird Dir dazu gleich einige Fragen stellen. Bitte gib dem Versuchsleiter dafür Bescheid.“

Der Versuchsleiter erfragte daraufhin anhand eines Fragebogens (vgl. Anhang C.3) zuerst die Diagnoseschritte und daraufhin die Managementschritte. Die nachfolgenden Auszüge veranschaulichen das Vorgehen zusammengefasst:

„Gerade hast Du die Kennzeichen für ein Leck im O₂-Ventil kennen gelernt. Im Folgenden möchten wir Dich bitten, noch einmal Schritt für Schritt alles durchzugehen:

1. Was sind die Auswirkungen eines O₂-Lecks in CAMS?[...]
2. Welche Diagnoseschritte musst Du machen, um den Fehler eindeutig zu identifizieren, angefangen beim Alarm?[...]

Der Versuchsleiter notierte während dessen die Antworten des Probanden auf einem Kontrollbogen (vgl. Anhang C.3). Im Anschluss daran wurden die Probanden instruiert, den gerade gelernten Fehler noch einmal in der direkten Interaktion mit dem System zu diagnostizieren und zu beheben. Sie erhielten dafür die gleiche Instruktion wie die Probanden der Experimentier-Bedingung. Durch das Envisioning beschäftigten sich die Probanden dieser Bedingung über einen längeren Zeitraum mit AutoCAMS 2.0. Um die durchschnittliche Zeit der Beschäftigung mit AutoCAMS 2.0 für beide Gruppen konstant zu halten, wurde der Zeitraum des Experimentierens aus Phase 2 für die Experimentier-Bedingung um 10 Minuten verlängert. Somit können Unterschiede zwischen den Gruppen nicht allein auf die längere Interaktion mit der AutoCAMS 2.0 Simulation zurückgeführt werden.

6.3.1.3 Unabhängige Variablen und Design

Um den Einfluss des Envisionings auf den Wissenserwerb zu untersuchen, wurde ein Zweigruppenplan mit dem Zwischensubjektfaktor Training mit den zwei Stufen Envisioning und Experimentieren untersucht (vgl. Tabelle 6.3.2).

Tabelle 6.3.2: Zweigruppenplan für die empirische Studie 3

Envisioning	Experimentieren
n=16	n=17

Zur Beantwortung der Frage, inwieweit es unterschiedliche Einflüsse auf die Bearbeitung bekannter und neuartiger Fehlerszenarien gibt, wurde dieser Zweigruppenplan um einen weiteren Within-Faktor erweitert. Dieser Within-Faktor Fehlerart hat eine Messwiederholung auf den zwei Faktorstufen Bekannte Fehlerszenarien und Neue Fehlerszenarien. Die Intervention besteht darin, dass einige Fehlerszenarien schon im Trainingsverlauf geübt werden, andere Fehlerszenarien tauchen das erste Mal in der Testungsphase auf. Es sollte also insgesamt einen Übungseffekt geben (bekannte Fehler), jedoch sollte differentiell herauskommen,

dass die Envisioning-Gruppe das Üben nicht in gleichem Ausmaß benötigt wie die Vergleichsgruppe, was sich in dem Ergebnis widerspiegeln würde, dass sie bei unbekanntem Fehlern immer noch bessere Ergebnisse erzielt. Tabelle 6.3.3 veranschaulicht den zweifaktoriellen Plan mit dem Zwischensubjektfaktor Trainingsvariante und der Erweiterung um den Within-Faktor Fehlerart.

Tabelle 6.3.3: Erweitertes zweifaktorielles Untersuchungsdesign für die empirische Studie 3

Trainingsvariante	Fehlerart	
	Bekannte Fehlerszenarien	Neue Fehlerszenarien
Envisioning	n= 16	
Experimentieren	n= 17	

6.3.1.4 Abhängige Variablen

Tabelle 6.3.4 zeigt einen Überblick über die in dieser Untersuchung eingesetzten abhängigen Variablen. Die Güte des kausalen mentalen Modells wurde über Indikatoren zur Güte des Wissens in Form eines Wissensfragebogens und zur Güte der Systemsteuerung in Form von Leistungsparametern der Systemsteuerung als abhängige Variable ermittelt. Die Indikatoren zur Güte des Wissens und zur Güte der Systemsteuerung werden in den folgenden Abschnitten detaillierter beschrieben.

Tabelle 6.3.4: Übersicht über die abhängigen Variablen für Studie 3

Indikator	Abhängige Variable
Güte des Wissens	A: Systemwissen
	B: Funktionswissen und Kontroll- und Steuerungswissen
	C: Fehlermanagementwissen
	D: Kontroll- und Steuerungswissen
Güte der Systemsteuerung	Anzahl korrekter Erstdiagnosen
	Anzahl korrekter Diagnosen gesamt
	Diagnosezeiten korrekter Erstdiagnosen
	Diagnosezeiten korrekt diagnostizierter Fehler
	Informationssuchverhalten

6.3.1.4.1 Der Wissensfragebogen

Der Wissensfragebogen umfasst vier Aufgabentypen, die jeweils unterschiedliche Wissensbereiche abfragen. Der Fragebogen ist dem Anhang C.4 zu entnehmen.

(1) Aufgabentyp A erfragt das *Bereichswissen* der Probanden. Den Probanden wurden Fragen zu den Komponenten Sauerstoff und Druck anhand des nachfolgend aufgeführten Beispiels vorgelegt:

„Im folgenden Abschnitt werden Dir Fragen zur Beziehung zwischen verschiedenen Ereignissen (Komponenten oder Prozessen) gestellt. Bitte nenne so viele Beziehungen wie möglich. Nachfolgend ist eine Beispielfrage mit Antwort vorgegeben [...].“

(2) Aufgabentyp B ermittelt anhand von Fragen zur Fehlerdiagnose das Funktionswissen sowie das Kontroll- und Steuerungswissen der Probanden:

„Im Folgenden werden verschiedene Szenarien beschrieben. Deine Aufgabe ist herauszufinden, durch welche Fehlfunktionen diese Szenarien verursacht worden sein könnten und ob aufgrund der gegebenen Information eine eindeutige Fehlerdiagnose möglich ist. Darüber hinaus sollst Du angeben, welche Informationen noch benötigt werden, um eine eindeutige Diagnose stellen zu können. [...]“

(3) Aufgabentyp C umfasst allgemeine Fragen zum Vorgehen bei der Fehlerdiagnose und beim Fehlermanagement:

*„In dieser Aufgabe werden Dir einige generelle Fragen zum Fehlermanagement gestellt.
1. Wodurch erkennt man, dass ein Fehler vorliegt? [...]“*

(4) Aufgabentyp D erfasst durch Fragen zu spezifischen (sowie unbekanntem) Fehlerszenarien eine Kombination aus Kontroll- und Steuerungs-, Funktions- und Transferwissen. In diesem Fragetyp müssen die Probanden eine Diagnoseaufgabe zu einem unbekanntem Fehlerszenario beantworten:

„Nun noch einige Fragen zu Fehlermanagement bei spezifischen Fehlfunktionen. Welche(r) Eingriff(e) in das System müssen vorgenommen werden, wenn ein defekter O₂-Sensor mit Überschreitung vorliegt?“

6.3.1.4.2 Indikatoren für die Güte der Systemsteuerung

Die Güte der Systemsteuerung wurde anhand von drei Leistungsindikator-kategorien ermittelt, die im Rahmen der Entwicklung der Simulation CAMS definiert wurden (vgl. HOCKEY et al., 1998). Diese Indikatoren werden auch in der Trainingspraxis im Rahmen von Störungsdiagnostetrainings in automatisierten Systemen als Maße für die Evaluation von Trainingsprogrammen herangezogen (vgl. BERGMANN, 1999; WIEDEMANN, 1995) und ermöglichen somit eine Übertragung der Aussagen der Analyseergebnisse auf die Praxis.

(1) *Anzahl korrekter Diagnosen:* Die Anzahl an korrekten Erstdiagnosen gibt als Maß zur Güte der Systemsteuerung Aufschluss darüber, wie gut der Systembediener in der Lage ist, einen Fehler auf Anhieb richtig zu diagnostizieren.

(2) *Diagnosedauer:* Die Diagnosedauer oder auch Geschwindigkeit der Fehlerdiagnose wird als der Zeitabschnitt zwischen dem Eintreten des Fehlers und dem Absenden des korrekten Reparaturauftrags definiert. Sie ist von der Kompetenz des Systembedieners abhängig. Kurze Fehlerdiagnosezeiten sind ein Indikator dafür, dass „das Wissen und die Handlungsprogramme für die Diagnose und Behebung von Störungen entweder verfügbar sind oder sehr rasch erzeugt werden können“ (BERGMANN, 1999, S. 206). Lange Diagnosedauern weisen auf Probleme beim Abruf von Wissen und bei der Generierung von Handlungsprogrammen hin und können als Indikator für Kompetenzlücken interpretiert werden (vgl. BERGMANN, WIEDEMANN & ZEHRT, 1997).

(3) *Informationssuchverhalten:* Dieser Indikator beschreibt das Klickverhalten der Probanden bis zur Erstdiagnose. Jeder manuelle Eingriff in das System wird automatisch aufgezeichnet und im Hinblick darauf aufbereitet, ob er notwendig oder überflüssig für das Erstellen einer Diagnose ist. Drei Unterteilungen geben Aufschluss über die Güte des Informationssuchverhaltens:

(3.1) Die Anzahl notwendiger Diagnoseschritte zeigt an, wie viele der notwendigen Diagnoseschritte gemacht wurden und wie häufig diese ausgeführt wurden. Dieser Indikator ist in drei Kategorien unterteilt: a1. Wie viele der notwendigen Schritte durchgeführt wurden und a2. Wie oft die notwendigen Schritte durchgeführt wurden sowie a3. Wie viele notwendige Schritte exklusive der optionalen Schritte ausgeführt wurden.

(3.2) Die Anzahl der optionalen Schritte gibt an, wie viele sinnvolle Diagnoseschritte ausgeführt wurden, die nicht notwendig sind, aber dennoch sinnvoll für das Erstellen der richtigen Diagnose. Eine weitere Unterteilung gibt an, wie viele optionale Schritte durchgeführt wurden (b.1) und wie oft die optionalen Schritte durchgeführt wurden (b.2).

(3.3) Die Anzahl an Diagnose- und Regelungsschritten, die nicht sinnvoll sind. Gutes Informationssuchverhalten ist dadurch gekennzeichnet, dass die notwendigen Diagnoseschritte nur einmal bis selten ausgeführt und nur wenige oder keine optionalen Diagnoseschritte sowie keine unsinnigen Diagnoseschritte ausgeführt werden. Wenige notwendige Diagnoseschritte, viele optionale Schritte und viele unsinnige Diagnoseschritte weisen auf Kompetenzlücken und inadäquates Informationssuchverhalten hin.

6.3.1.4.3 Moderierende Variablen

In einem Fragebogen zu demographischen Daten wurden zusätzliche Fragen zur Einschätzung des technischen und naturwissenschaftlichen Vorwissens sowie die Präferenz für Text-, Sprach- und Bildlernen erfragt. Die Fähigkeit zum abstrakten Denken wurde über den LPS-3 (HORN, 1983) erfasst.

6.3.1.5 Hypothesen

Folgende Alternativhypothesen werden auf der Grundlage der theoretischen Vorüberlegungen formuliert (die zugehörigen Nullhypothesen beinhalten jeweils die gegensätzliche Aussage):

H1: Probanden der Envisioning-Bedingung erzielen bessere Leistungen im Wissenstest und bei der Fehlerdiagnose als Probanden der Experimentier-Bedingung.

H2: Bekannte Fehler werden besser bearbeitet als unbekannte Fehler, d.h. sie werden häufiger, schneller und effizienter diagnostiziert.

Interaktionshypothese:

H3: Probanden der Envisioning-Bedingung erzielen bessere Leistungen in der Diagnose neuer Fehlerszenarien als Probanden der Experimentier-Bedingung.

6.3.1.6 Versuchsablauf

Die Untersuchung fand im Zeitraum Dezember 2007 bis Januar 2008 in einem Labor des Zentrum Mensch-Maschine-Systeme an der Technischen Universität Berlin statt. Ein Versuchsdurchlauf nahm ungefähr dreieinhalb Zeitstunden in Anspruch. Die Versuchsteilnehmer wurden zufällig einer der experimentellen Bedingungen zugewiesen. Das Experiment war für jeden Probanden in 3 Teile untergliedert (vgl. Tab. 6.3.5).

In Teil 1 der Untersuchung wurden die Probanden gebeten, einen demographischen Fragebogen mit Fragen zu ihrer Person sowie zu ihrem naturwissenschaftlichen und technischen Vorwissen und ihrer Lernpräferenz auszufüllen. Im Anschluss daran füllten alle Probanden unter Anweisung des Versuchsleiters die Skala 3 des Leistungsprüfsystems (HORN, 1983) aus.

In Teil 2, der eigentlichen Trainingsphase, erhielten die Probanden eine der zwei Varianten des computerbasierten Trainings (Envisioning-Bedingung oder Experimentier-Bedingung).

Teil 3 stellte die Testungsphase dar, die in zwei Blöcke unterteilt war. Der erste Block beinhaltete die Diagnose und das Management von drei bekannten sowie drei unbekanntem Fehlerszenarien. Diese insgesamt sechs Fehlerszenarien wurden den Probanden in jeweils einer von vier teilrandomisierten Reihenfolgen dargeboten, um systematische Reihenfolgeeffekte ausschließen zu können. Im zweiten Block füllten die Probanden den Wissensfragebogen aus.

Tabelle 6.3.5: Übersicht über den Versuchsablauf der Studie 3

	Ablauf Envisioning-Gruppe	Ablauf Experimentier-Gruppe
Teil 1: Einführung	Instruktionen Fragebogen zu demographischen Daten Fragebogen zu Vorwissen und Lernpräferenz	
Teil 2: Training	Phase 1: Die Simulation AutoCAMS 2.0	
	Phase 2: Envisioning	Phase 2: Experimentieren
Teil 3: Testung	Bearbeitung der Fehlerszenarien Bearbeiten des Wissensfragebogens	

6.3.1.7 Datenaufbereitung

Für den Wissensfragebogen wurde anhand von Referenzantworten eine Punktzahl für die einzelnen Skalen ermittelt (vgl. Anhang C.4). Die Aufbereitung der Logfiles der Performanzdaten erfolgte zunächst mit Auswertungsprogrammen, die von Mitarbeitern des Fachgebiets Arbeits-, Ingenieur- und Organisationspsychologie an der TU Berlin entwickelt wurden. Für jeden Probanden wurden die Anzahl und Reaktionszeiten für korrekt diagnostizierte Fehlerszenarien berechnet. Für alle Datensätze, in denen ein Reparaturauftrag abgeschickt wurde, wurde das Informationssuchverhalten bis zur Erstdiagnose ermittelt. Die weitere Aufbereitung und Analyse der Performanz- und der Wissensdaten fand mit der Statistik-Auswertungssoftware SPSS 15.0 statt.

6.3.2 Ergebnisse

Tabelle 6.3.6 gibt einen Überblick über die Mittelwerte und Standardabweichungen aller abhängigen Variablen.

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der varianzanalytischen Auswertungen zu den Wissensdaten und zu den Performanzdaten vorgestellt.

Tabelle 6.3.6: Mittelwerte und Standardabweichungen für die abhängigen Variablen

Indikator	Fehlerart	Training			
		Envisioning		Experimentieren	
		M	SD	M	SD
Güte des Wissens (%)					
Bereichswissen		63.80	15.57	58.37	13.06
Funktionswissen		76.86	13.73	68.27	8.65
Kontroll- und Steuerungswissen		79.41	21.67	67.65	26.00
Funktionswissen & Transfer		62.75	26.04	36.60	14.57
Güte der Systemsteuerung					
Anzahl korrekter Erstdiagnosen	Bekannte Fehler	1.69	0.7	1.41	0.80
	Neue Fehler	1.63	1.02	1.29	0.85
Anzahl korrekter Diagnosen insgesamt	Bekannte Fehler	2.00	0.73	2.18	0.73
	Neue Fehler	2.19	0.83	1.88	0.78
Diagnosedauer korrekter Erstdiagnosen	Bekannte Fehler	44.86	25.54	43.74	19.07
	Neue Fehler	66.23	24.89	60.72	23.00
Diagnosedauer korrekter Diagnosen insgesamt	Bekannte Fehler	67.07	38.24	85.93	47.28
	Neue Fehler	101.54	61.00	99.74	60.18
Notwendige Schritte	Bekannte Fehler	1.94	0.52	2.02	0.45
	Neue Fehler	2.83	0.67	2.88	0.44
Anzahl notwendiger Schritte	Bekannte Fehler	4.94	3.00	5.02	2.29
	Neue Fehler	7.79	3.74	7.23	2.65
Notwendige ohne optionale Schritte	Bekannte Fehler	2.34	0.04	2.31	0.08
	Neue Fehler	3.29	0.11	3.25	0.33
Optionale Schritte	Bekannte Fehler	1.01	0.15	0.94	0.18
	Neue Fehler	1.63	0.10	1.60	0.18
Anzahl optionaler Schritte	Bekannte Fehler	4.04	1.87	5.00	4.40
	Neue Fehler	10.09	5.29	8.69	4.60
Unsinnige Schritte	Bekannte Fehler	7.34	3.77	8.81	3.90
	Neue Fehler	8.33	4.61	10.37	4.33

6.3.2.1 Ergebnisse der Wissensanalyse

Die Ergebnisse für den Wissensfragebogen wurden anhand einer einfaktoriellen multivariaten Analyse berechnet. Für alle Analysen wurde die Varianzhomogenität getestet. In einem Fall ist die Varianzhomogenität nicht gegeben, es wird allerdings davon ausgegangen,

dass dies aufgrund der gleich großen Stichproben den F-Test nur unerheblich beeinflusst (vgl. BORTZ, 1999). Eine Übersicht über die Ergebnisse der varianzanalytischen Auswertungen findet sich in Anhang C.5.

Die statistische Auswertung der Wissensfragebogendaten ergibt signifikante Unterschiede für die Leistung in den Fragen zum Funktionswissen ($F(1,32) = 4.756$; $p = .037$; $\eta^2 = .129$). In Abbildung 6.3.2 sind die Unterschiede zwischen der Envisioning- und der Experimentiergruppe dargestellt. Die Probanden der Envisioning-Bedingung erzielen im Mittel bessere Leistungen als die Probanden der Experimentiergruppe.

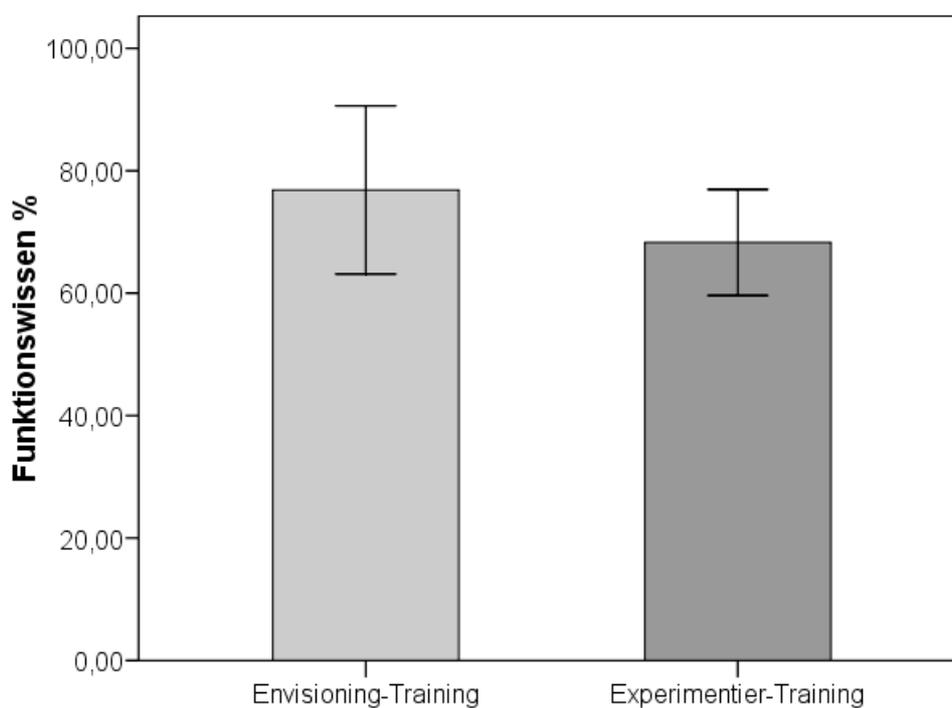


Abbildung 6.3.2: Mittelwerte und Standardabweichungen (SD +/-1) für die Leistung im Funktionswissen

Ebenso zeigen sich in der varianzanalytischen Auswertung signifikante Unterschiede zwischen den Trainingsgruppen für die Leistung bei der Bearbeitung von Fragen zu spezifischen Fehlerdiagnosen ($F_{1,32} = 13.048$; $p = .001$; $\eta^2 = .290$). In Abb. 6.3.3 sind die mittleren Leistungen der beiden Experimentalgruppen visualisiert. Auch hier zeigt sich im Mittel eine bessere Leistung für die Probanden der Envisioning-Bedingung als für die Probanden der Experimentier-Bedingung.

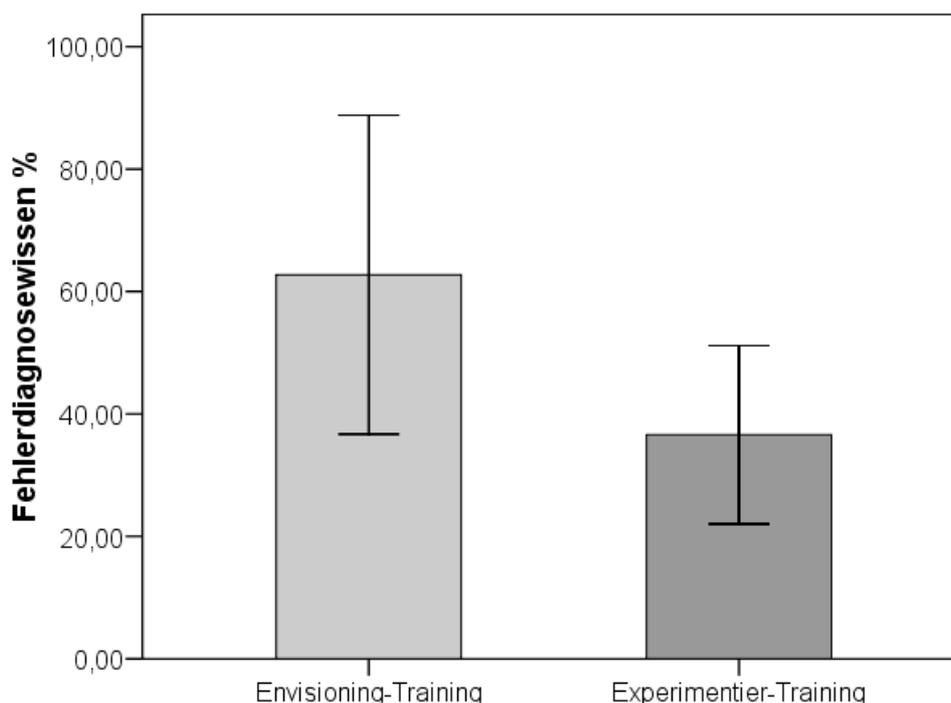


Abbildung 6.3.3: Mittelwerte und Standardabweichungen (SD +/-1) für die Leistung im Fehlerdiagnosewissen

Die statistische Auswertung ergibt keine Unterschiede für die Leistungen in den Fragen zum Bereichswissen ($p > .05$) sowie den allgemeinen Fragen zum Fehlermanagement ($p > .05$).

6.3.2.2 Ergebnisse der Performanzanalyse

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalysen für den Faktor Training mit Messwiederholung auf dem Faktor Fehlerart für die Indikatoren der Güte der Systemsteuerung vorgestellt. Eine Übersicht über die Ergebnisse der varianzanalytischen Auswertungen findet sich in Anhang C.5.

Für den Faktor Fehlerart zeigt die Analyse einen Haupteffekt bezüglich der abhängigen Variablen Diagnosedauer korrekter Erstdiagnosen ($F_{1,24} = 7.77$, $p < .05$, $\eta^2 = .24$), Diagnosedauer korrekter Diagnosen gesamt ($F_{1,31} = 3.70$, $p < .05$, $\eta^2 = .11$), notwendige Diagnoseschritte ($F_{1,30} = 92.68$, $p < .05$, $\eta^2 = .76$), Summe notwendiger Diagnoseschritte ($F_{1,30} = 18.55$, $p < .05$, $\eta^2 = .38$), notwendige, exklusive der optionalen Diagnoseschritte ($F_{1,30} = 679.69$, $p < .05$, $\eta^2 = .96$), die optionalen Diagnoseschritte ($F_{1,30} = 223.58$, $p < .05$, $\eta^2 = .88$), Summe der optionalen Diagnoseschritte ($F_{1,30} = 33.20$, $p < .05$, $\eta^2 = .53$). Die deskriptive Betrachtung der Ergebnisse bestätigt, dass bekannte Fehler insgesamt schneller diagnostiziert werden als unbekannte Fehler.

Es zeigen sich keine signifikanten Ergebnisse für den Faktor Fehlerart im Hinblick auf die Anzahl korrekter Erstdiagnosen, der Anzahl korrekter Diagnosen gesamt sowie für die unsinnigen Diagnoseschritte.

Für keine der hier berichteten abhängigen Variablen ergeben sich signifikante Unterschiede für den Faktor Training, ebenfalls zeigt sich für keine der abhängigen Variablen ein signifikanter Interaktionseffekt.

6.3.3 Diskussion und Zusammenfassung der Ergebnisse

6.3.3.1 Auswirkungen des Envisionings auf die Güte des Wissens

Die Ergebnisse der statistischen Analysen zeigen, dass die Probanden der Envisioning-Bedingung in den kritischen Wissensbereichen bessere Leistungen erzielen als die Probanden der Experimentier-Bedingung. Demnach unterstützen die berichteten Ergebnisse die Hypothese H1: „Probanden der Envisioning-Bedingung erzielen bessere Leistungen im Wissenstest als Probanden der Experimentier-Bedingung“. Es kann somit angenommen werden, dass die Anleitung zum Envisioning zu einem vertieften Wissenserwerb führte. Eine Ausnahme in der Wissenstestung stellen die Ergebnisse zum Systemwissen dar. Hier zeigen sich keine Unterschiede zwischen den beiden Trainingsgruppen. Eine mögliche Erklärung könnte darin liegen, dass diese Wissensinhalte beiden Trainingsgruppen in gleicher Weise vermittelt wurden und daher auch in gleicher Güte abgerufen werden konnten. Die Ergebnisse zur Leistung der Probanden aus der Envisioning-Bedingung bei der Wissensdiagnose unterstützen ebenfalls die in Kapitel 4 berichteten Ergebnisse der Studien von SCHEITER et al. (2006) sowie GINNS et al. (2003), in denen ein positiver Nutzen der mentalen Simulation auf den Wissens- und Fähigkeitserwerb gezeigt werden konnte. Im Gegensatz zu diesen Studien wurde im Rahmen des hier vorgestellten Trainings allerdings der Prozess der mentalen Simulation (d.h. das Envisioning) extern durch einen Versuchsleiter angeleitet. Es ist davon auszugehen, dass durch die hier angewandte Vorgehensweise kontrolliert werden konnte, dass eine mentale Simulation seitens des Lerners stattgefunden hat und daher die besseren Leistungen in der Wissensdiagnose auf den positiven Einfluss der mentalen Simulation zurückführbar sind. Einschränkend lässt sich anmerken, dass der Wissensfragebogen in dieser Studie unmittelbar nach dem Training und der Bearbeitung der Fehlerdiagnoseaufgaben bearbeitet wurde und somit das Resultat einer unmittelbaren Wissensdiagnose mit zeitlich eingeschränkter Aussagekraft ist.

6.3.3.2 Auswirkungen des Envisionings auf die Güte der Systemsteuerung

Zusammengefasst zeigen die Ergebnisse dieser Studie keine Unterschiede in der Bearbeitung der Fehlerszenarien für die beiden Trainingsbedingungen. Die Hypothese H3: „Probanden der Envisioning-Bedingung erzielen bessere Leistungen in der Diagnose bekannter und neuer Fehlerszenarien als Probanden der Experimentier-Bedingung“ muss dementsprechend auf der Grundlage der vorliegenden Ergebnisse falsifiziert werden. Einige mögliche Gründe für die fehlenden Unterschiede werden in den folgenden Abschnitten für die jeweiligen Performanzindikatoren diskutiert. Im Theorieteil dieser Arbeit wurde die Frage diskutiert, inwieweit im Rahmen von Trainingsmaßnahmen tiefer gehendes Wissen über das zu bedienende System aufgebaut werden muss, um es adäquat bedienen zu können. Dem gegenüber steht die Annahme, dass das Vorhandensein einfacher Input-Output-Regeln ausreicht, um vorgegebene Aufgaben ausführen zu können (vgl. LANDEWEERD et al. 1981; KLUWE, 1997). Die Ergebnisse hinsichtlich der Wissenstests in dieser Studie zeigen, dass Unterschiede zwischen den Trainingsgruppen hinsichtlich der Güte ihres Wissens existieren. Dies spiegelt sich allerdings nicht in den Performanzdaten wider. Eine mögliche Erklärung für die fehlenden Leistungsunterschiede könnte darin liegen, dass das Vorhandensein eines gut explizierbaren Kausalwissens nicht zwangsläufig zur Folge hatte, dass die Probanden das System besser bedienen konnten. In einer nachfolgenden Studie könnte zusätzlich zu den hier erhobenen Wissensdaten Input-Output-Wissen ermittelt werden, um differenziertere Aussagen darüber zu erlangen, inwieweit das Vorhandensein einfacher Input-Output-Strategien zur erfolgreichen Bedienung des Systems ausreicht.

Aufgrund der teilweisen Randomisierung der Fehlerszenarien in der Testung bestand für die Hälfte der Probanden das erste zu bearbeitende Fehlerszenario in einem unbekanntem Fehler und für die andere Hälfte der Probanden in der Bearbeitung eines bekannten Fehlers. Hierdurch kann es außerdem zu einer Erhöhung der Varianz gekommen sein. Um sicherzustellen, dass ein möglicher Einfluss des Bekanntheitsgrades des Anfangsfehlers auf die abhängige Variable der Güte der Systemsteuerung auszuschließen ist, wurden a posteriori Analysen durchgeführt. Eine Übersicht über die Ergebnisse dieser Analysen ist in Anhang C.5 zu finden. Es zeigen sich jedoch keine Unterschiede hinsichtlich des Anfangsfehlers, bezogen auf die Leistungsdaten. Die Fehlerschwierigkeit der für die Testung ausgewählten Fehler wurde einheitlich gehalten. Eine weiterführende Studie mit einer alternativen Fehlerauswahl, beispielsweise mit eindeutig schwierigeren Fehlerszenarien für die Testung könnte differenziertere Hinweise auf die Fähigkeit erlauben, das gelernte Wissen auf neue und komplexere

Sachverhalte anzuwenden. Eine gezielte Unterteilung und Gegenüberstellung von leichten und schwierig zu bearbeitenden Fehlern und deren systematische Untersuchung im Rahmen eines experimentellen Designs differenziertere Aufschlüsse über Unterschiede zwischen den Trainingsgruppen geben. Eine weitere Begründung für die fehlenden Unterschiede könnte darin liegen, dass durch das Envisioning-Training kein besseres mentales Kausalmodell erworben wurde als durch das Experimentier-Training, und dass es dementsprechend auch keine Unterschiede in der Performanz geben kann. Gegen diese Annahme sprechen allerdings die Ergebnisse aus der Wissensanalyse, in der gezeigt wurde, dass die Lerner der Envisioning-Bedingung besseres Funktionswissen über die Fehler aufbauten als die Lerner der Experimentier-Bedingung.

Im Hinblick auf die Ergebnisse zur Diagnosedauer sind ebenfalls keine Unterschiede zwischen den beiden Trainingsbedingungen festzustellen. Eine deskriptive Betrachtung der Ergebnisse lässt auf den ersten Blick vermuten, dass das mentale Kausalmodell der Probanden der Experimentier-Gruppe qualitativ besser sein könnte als das der Probanden der Envisioning-Gruppe und diese deshalb weniger Zeit zur Bearbeitung der Fehler benötigen. Gegen diese Erklärung sprechen jedoch die Ergebnisse der Wissensanalysen. Diese zeigen nämlich, dass die Probanden der Envisioning-Bedingung ein komplexeres mentales Kausalmodell erworben haben als die Probanden der Experimentier-Bedingung. Möglicherweise führte dies dazu, dass die Lerner der Envisioning-Bedingung tieferes Wissen über das zu bedienende System hatten und daher bei der Diagnose sehr viel gründlicher vorgehen und folglich mehr Zeit benötigten (vgl. BERGMANN, 1999). Lerner der Experimentier-Bedingung wenden im Gegensatz dazu möglicherweise einfachere Diagnoseheuristiken an, die somit auch zu einer in der Tendenz kürzeren Diagnosedauer führten.

Eine weitere mögliche Erklärung für die fehlenden Leistungsunterschiede könnte darin liegen, dass Lerner der Envisioning-Bedingung zwar ein komplexeres mentales Kausalmodell entwickelt haben, dass dieses allerdings aufgrund des kurzen zeitlichen Abstands zwischen der Trainings- und der Testungsphase möglicherweise noch nicht so gefestigt wurde, als dass es in effizientere und effektivere Fehlerbearbeitung münden konnte. Vielmehr könnten die Ergebnisse darauf hindeuten, dass diese Gruppe durch die Verwendung eines komplexeren mentalen Kausalmodells einen erhöhten Informationsverarbeitungsaufwand, kombiniert mit einer erhöhten Fehleranfälligkeit, hat. Dagegen arbeiten die Lerner der Experimentier-Bedingung mit einfachen Heuristiken, die zwar auch häufig zu Fehlern, letztendlich aber zu keiner schlechteren Performanz führen. Interessant wäre es also, herauszufinden, ob

bei einem zeitlich längeren Training und längeren Pausen zwischen Training und Testung die Probanden der Envisioning-Bedingung von ihrem Wissensvorsprung profitieren würden. In nachfolgenden Untersuchungen sollte daher abgeklärt werden, inwieweit sich im Rahmen eines länger angelegten Trainings Unterschiede zwischen den beiden Trainingsgruppen zeigen.

Die Ergebnisse zum Informationssuchverhalten zeigen ebenfalls keine Unterschiede zwischen der Experimental- und der Kontrollgruppe. Ein möglicher Erklärungsversuch für diesen Mangel an Unterschieden ist der, dass die Lernenden der Envisioning-Bedingung zwar Wissen über die Funktionsweise des Systems aufgebaut haben, allerdings noch nicht über geeignete Handlungsschemata verfügen bzw. diese noch nicht so schnell verfügbar machen können und daher mehr Absicherungs- und Suchschritte für das Erstellen einer Diagnose benötigen. Eine weitere Begründung könnte in einer Tendenz zu einem eher konservativen Diagnoseverhalten liegen. Vor allem in Verbindung mit der kurzen Trainingsdauer und der daraus eventuell resultierenden unsicheren Wissensbasis haben sich die Probanden möglicherweise dafür entschieden, jede Diagnose durch das Abrufen aller in Frage kommenden Informationsquellen abzusichern. Die Probanden wurden in der Instruktion nicht explizit angewiesen, nur die notwendigsten Informationsschritte zu gehen. Fehlende Unterschiede können daher möglicherweise auch auf die für diese Analysen zu unspezifische Instruktion zurückzuführen sein.

Ferner sind die Ergebnisse vor dem Hintergrund von Analysen aus der Trainingspraxis erklärbar. So zeigten WIEDEMANN (1995) sowie BERGMANN, WIEDEMANN und ZEHRT (1997) in einer Feldstudie, dass selbst erfahrene Anlagenexperten bei der Störungsdiagnose die Tendenz aufwiesen, alle möglichen verfügbaren Informationen abzurufen, um zu einer Entscheidung zu gelangen, was dazu führte, dass das Informationssuchverhalten als sehr hoch eingestuft wurde. Diesem Nachteil ließe sich durch die Entwicklung eines Trainingsprogramms begegnen, das ebenfalls auf die Ökonomie des Informationssuchverhaltens abzielt und die Operateure darauf vorbereitet, nur die notwendigen Informationssuchschritte zu vollziehen. Fraglich ist allerdings die Übertragbarkeit eines solchen Trainings auf den Arbeitsalltag. Sind die Operateure vor Ort nämlich von den Konsequenzen einer Fehldiagnose direkt betroffen, nicht aber von den Konsequenzen längerer Diagnosezeiten, die mit einem aufwändigen Informationssuchverhalten selbstverständlich einher gehen, erscheint es schwierig, den Gedanken einer ökonomischen Ursachensuche gegenüber einer vermeintlich gründlichen durchzusetzen.

In den in Kapitel 4.2.3 berichteten Studien werden Techniken der Visualisierung mit Techniken zur mentalen Simulation gegenübergestellt. Ein Vergleich des angeleiteten Envisionings mit einem reinen Experimentieren fand in den berichteten Studien nicht statt. Die Befundlage zur Tauglichkeit des Envisionings kann dementsprechend nur einschränkend auf den hier dargestellten Untersuchungskontext übertragen werden. Ein weiterer Aspekt betrifft die Überlegung, inwieweit auf Seiten des Lerners Vorwissen vorhanden sein sollte, damit ein Training unter Anleitung zu mentaler Simulation erfolgreich sein kann (GINNS et al., 2003). In der hier vorgestellten Untersuchung wurde durch die Konzeption des Trainings mit zwei allgemeinen Wissensvermittlungsphasen zu Beginn des Trainings, im Vorfeld des Envisionings, angestrebt, das notwendige Vorwissen aufzubauen. Eine Kontrolle des Vorhandenseins von Vorwissen fand nicht statt, so dass sich fragen lässt, ob die Probanden der Envisioning-Bedingung ausreichendes Vorwissen aufgebaut haben, oder ob die eigentlich notwendige Wissensbasis noch nicht bei allen Probanden in ausreichendem Maße vorhanden gewesen ist. Die Ergebnisse der Wissensanalyse zeigen allerdings gute Ergebnisse der Probanden beider Gruppen hinsichtlich ihrer Leistung in Fragen zum System- sowie zum Kontroll- und Steuerungswissen. Diese Wissensinhalte wurden in den allgemeinen Trainingsabschnitten vermittelt, so dass vermutet werden kann, dass bereits zu Beginn des Envisionings Vorwissen über das System aufgebaut wurde. Dennoch sollten nachfolgende Studien eine Überprüfung des Vorhandenseins von Vorwissen im Vorfeld des Envisionings mit einbeziehen.

7 ALLGEMEINE DISKUSSION UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE

In den empirischen Studien dieser Arbeit wurden verschiedene Ansätze zur Umsetzung des in Kapitel 5 vorgeschlagenen Konzeptes für computerbasierte Trainingssysteme experimentell überprüft. In der empirischen Studie 1 konnte der Vorteil von holistischer und sukzessiver Informationsdarstellung gegenüber einem textbasierten Training für den Erwerb von Systemwissen gezeigt werden. In der empirischen Studie 2 konnte gezeigt werden, dass die Kombination einer sukzessiven Visualisierung von Systemzusammenhängen mit der Interaktion mit dem System sowohl für den Wissenserwerb als auch für die Fähigkeit, ein technisches System zu bedienen, förderlich ist. Mit der empirischen Studie 3 wurde gezeigt, dass die Anleitung von Envisioning- Prozessen einen Vorteil im Wissenserwerbsprozess gegenüber einem Training mit Experimentierphasen erbringt. In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der empirischen Studien vor dem Hintergrund der in den theoretischen Kapiteln dieser Arbeit aufgeworfenen Fragestellungen diskutiert.

7.1 Herausforderungen bei der Durchführung experimenteller Trainingsstudien

Bei experimentellen Trainingsstudien können verschiedene Herausforderungen auftreten, die es dem Untersucher erschweren, die spezifische Wirkung von Trainingseinheiten genau zu bestimmen. Ein zentrales Problem liegt in der Schwierigkeit, das Vorwissen von Probanden adäquat zu erfassen, um eine homogene Ausgangslage der Stichprobe zu gewährleisten. Idealerweise sollte vor dem Experiment eine gründliche Erfassung des Vorwissens der Probanden in dem betreffenden Wissensbereich erfolgen. Es ist jedoch schwierig, Vorwissen zu erfragen, ohne zu viele Informationen der zu vermittelnden Wissensinhalte vorweg zu nehmen. Im Zuge der Vorwissenserfassung kann bereits ein Lernprozess auf Seiten des Probanden stattfinden, in dem bei der Beantwortung der Fragen neues Wissen generiert wird. Dies betrifft den Einfluss von bereichsspezifischem Vorwissen auf die Wissens- und die Steuerleistung (vgl. FUNKE, 1992). Um differenziertere Aussagen über den Einfluss des Vorwissens auf die verschiedenen untersuchten Trainingsstrategien treffen zu können, müssten eigentlich spezifische Vorwissenstests eingesetzt werden. Allerdings existieren nicht für jede Domäne valide diagnostische Wissensinstrumente. In den hier berichteten Studien wurde

darauf verzichtet, gezielte Vorwissenstests einzusetzen. Die Probanden wurden stattdessen gebeten, ihr naturwissenschaftliches und technisches Verständnis selbst einzuschätzen. Anhand dieses Vorgehens sollte eine annähernd gleiche Ausgangsbasis unter den Probanden geschaffen werden. Eine exakte Überprüfung der Unterschiede zwischen den Probanden war jedoch nicht möglich. Zusätzlich wurde bei der Auswahl der Versuchspersonen darauf geachtet, dass sie einen vergleichbaren Studienhintergrund (Studiengänge der Natur- und Ingenieurwissenschaften) hatten.

Eine weitere Herausforderung im Zusammenhang mit Trainingsexperimenten besteht in der Schwierigkeit, das Wissen von Lernenden zu diagnostizieren (vgl. SÜß, 1996), da das Wissen der Probanden dynamisch und häufig nur abhängig vom Nutzungskontext abrufbar ist. Durch jede Wissensdiagnose findet auch ein Reflexionsprozess statt, in dem das vorhandene Wissen überdacht und in der Realität überprüft wird. Bei Lernenden findet ein kontinuierlicher Austausch zwischen Wahrnehmung, Gedächtnis und Informationssuche statt, d.h. das mentale Kausalmodell wird während der Interaktion mit der Umwelt einer ständigen Veränderung unterzogen (vgl. NEISSER, 1967). Daher ist es oftmals schwierig, den alleinigen Einfluss einer Intervention im Zuge der Wissensdiagnostik zu überprüfen. Die Qualität und die Angemessenheit der Testfragen im Zuge der Wissensdiagnose haben daher eine zentrale Bedeutung. SÜß (1996) stellt die Forderung auf, bei der Wissensdiagnostik möglichst vielfältige und zahlreiche Methoden zu verwenden. In den hier vorgestellten Studien wurde versucht, dem Anspruch der Vielfältigkeit dadurch gerecht zu werden, dass sowohl Wissensfragebögen als auch Leistungstests als Indikatoren für die Güte des erworbenen mentalen Kausalmodells eingesetzt wurden.

Ein Problem, das häufig im Rahmen von Trainingsexperimenten, in denen die Bedienung eines technischen Systems gelernt werden soll, zu einer Einschränkung der Aussagekraft führt, besteht darin, dass Probanden zwar sehr gut dazu in der Lage sind, das System zu bedienen. Ihr erworbenes Wissen zu verbalisieren, bereitet ihnen hingegen häufig Probleme. BROADBENT et al. (1986) verweisen auf eine Dissoziation der erfassbaren Steuerleistung und dem von den Probanden verbalisierbaren Wissen. Auch in der Praxis zeigt sich eine große Varianz des explizierbaren Wissens zwischen Praktikern (vgl. BERGMANN, 1999). Bezogen auf die unterschiedlichen Auswirkungen der Trainingsstrategien auf die Leistung in der Interaktion mit dem technischen System konnte lediglich in der empirischen Studie 2 ein Unterschied in der Wirkung der Trainingsvarianten gezeigt werden. Gleichzeitig zeigten sich jedoch in allen Studien qualitative Wissensunterschiede zwischen den Probanden der ver-

schiedenen Trainingsbedingungen. Eine mögliche Erklärung für das Vorhandensein von Wissensunterschieden und dem Fehlen von Unterschieden in der Performanz in allen drei Studien könnte darin liegen, dass die relativ zeitnahen Testungsphasen im Anschluss an das Training dazu geführt haben, dass die Probanden zwar bereits Wissen aufgebaut haben, dass sie dies aber noch nicht in handlungsrelevante Schemata umsetzen konnten. Somit konnte der Wissensvorsprung noch nicht handlungswirksam werden, was im Ergebnis zu fehlenden Unterschieden in der Steuerleistung zwischen den Experimentalgruppen geführt haben mag. Weiterführende Studien zu Langzeitwirkungen von Trainingseffekten könnten in dieser Frage Aufschluss geben.

Ein weiterer Faktor, der die Generalisierbarkeit der Ergebnisse der hier berichteten Studien begrenzt, liegt in der engen zeitlichen Kopplung von Wissensvermittlung und Wissensabfrage. Größere Abstände zwischen den Trainingseinheiten und den Testungsphasen (Wissensdiagnosen und Leistungstests), ähnlich zu der von SAUER et al. (2000) durchgeführten Studie, ließen Aussagen darüber zu, inwieweit die hier gefundenen Effekte auch langfristig bestehen bleiben.

In den hier berichteten Trainingsstudien wurde der Versuch unternommen, für einen Ausschnitt von Operateurstätigkeiten relevante Wissensstrukturen zu vermitteln. Die empirischen Studien 1 und 2 zielten vorwiegend auf die Wissensvermittlung und die Diagnose des explizierbaren Nutzerwissens ab. Darüber hinaus wurde in diesen Trainings der Aufgabenbereich der manuellen Kontrolltätigkeiten trainiert. Inwieweit es erforderlich ist, über ein gutes mentales Kausalmodell zu verfügen, um die Regelungstätigkeiten ausführen zu können, kann aufgrund der vorliegenden Ergebnisse nicht eindeutig beantwortet werden. In der Studie 1 zeigten sich keine Unterschiede zwischen den Trainingsgruppen hinsichtlich ihrer Systemsteuerungsleistung, obwohl Unterschiede im Systemwissen vorhanden waren. Es stellt sich auch hier die Frage, inwieweit die Steuerung eines technischen Systems auf der Grundlage von Input-Output-Strategien ebenso effizient ist wie die Steuerung auf der Grundlage von kausalen Wissensstrukturen. Auch MORRIS und ROUSE (1985) fanden Unterschiede im Hinblick auf das Wissen von verschiedenen Trainingsbedingungen, nicht aber im Hinblick auf die Leistung in der Interaktion mit dem System. Die Ergebnisse der empirischen Studien 2 und 3 zeigen Wissensunterschiede zwischen den Trainingsgruppen, jedoch nur geringe Unterschiede hinsichtlich ihrer Steuerungs- und Fehlerdiagnoseleistung. In den empirischen Studien 1 und 2 waren allerdings nur sehr begrenzte Systeminteraktionsphasen als Trainingsinhalte implementiert. Es wäre aufschlussreich, herauszufinden, inwieweit die Visualisierung

von Kausalinformationen in Kombination mit häufigeren und intensiveren Systeminteraktionsphasen zu noch besseren Ergebnissen im Hinblick sowohl auf die Steuerleistung als auch auf die Qualität des Wissenserwerbs führen würde.

In der empirischen Studie 3 wurde darüber hinaus die Qualifizierung für den wichtigen Bereich der Fehlerdiagnose- und Managementtätigkeiten adressiert. Trainings für sicherheitskritische Systeme fokussieren den wichtigen Aspekt der Bedienungsfehler. Diese können in der Interaktion mit sicherheitskritischen Systemen negative Auswirkungen haben. Die Verantwortung für die Systemsicherheit obliegt u.a. den Operateuren, und auch sie sind dafür verantwortlich, dass keine Fehler auftreten. Die Frage, ob Fehler im Rahmen von Trainings zugelassen werden sollten, ist nicht unkritisch zu beantworten. Einerseits entsteht durch Fehler ein Erfahrungszugewinn, andererseits kann es zu negativen Transfereffekten im realen Arbeitskontext kommen (vgl. WICKENS & HOLLANDS, 2000), beispielsweise wenn die Operateure die zuvor trainierten Fehler als - nahe liegende - Diagnosen stellen. BAINBRIDGE (1981) deutet auf die Schwierigkeit hin, dass unbekannte Fehler nicht trainierbar sind. Stattdessen schlägt sie vor, allgemeine Strategien zu entwickeln, die dazu beitragen, besser mit unbekanntem Fehlern umgehen zu können. Mit den hier entwickelten Trainings konnte durch das Envisioning die Qualität des Wissens der Probanden verbessert werden. Eine Übertragung des Envisionings als Technik, um allgemeine Strategien des Fehlermanagements mental zu simulieren, könnte einen zusätzlichen Beitrag zur Generalisierbarkeit der gefundenen Effekte für diese Trainingsstrategie bieten.

7.2 Diskussion der Ergebnisse vor dem Hintergrund des Rahmenmodells und des Trainingskonzeptes

Abschließend sollen die Ergebnisse dieser Arbeit zum Rahmenmodell sowie zu dem daraus abgeleiteten Trainingskonzept in Beziehung gesetzt und diskutiert werden. Die Erkenntnisse, die sich aus den Ergebnissen der Arbeit ableiten lassen, werden berichtet und es wird ein Ausblick auf die Möglichkeiten für weiterführende Untersuchungen gegeben.

Mit der Formulierung eines Rahmenmodells wurde darauf abgezielt, eine Grundlage für die Entwicklung eines Trainingskonzeptes und der darin enthaltenen Trainingsstrategien zu bieten. Das Rahmenmodell spielt für die theoretische Entwicklung der hier vorgestellten Untersuchungsideen insofern eine zentrale Rolle, als dass der wichtigste Anspruch der theoriegeleiteten Entwicklung von Trainingsstrategien darin besteht, dass das zugrunde liegende Trainingskonzept und alle Strategien, die auf der Grundlage des Rahmenmodells formuliert werden, evidenzbasiert sein sollen. Für Teile des Rahmenmodells konnte dies anhand der Ergebnisse der empirischen Studien gezeigt werden.

7.2.1 Topologieerwerb und Visualisierung von Trainingsinhalten

Die erste Stufe des Rahmenmodells, *Topologische Repräsentation und Komponentenmodelle*, beschreibt den Erwerb der topologischen Repräsentation über die Komponenten des zu bedienenden Systems sowie den Erwerb von Komponentenmodellen (in denen das Wissen über die möglichen Zustände der Systemkomponenten repräsentiert ist). In Kapitel 5 wurde im Zuge der Beschreibung des Trainingsbausteins die Frage aufgeworfen, welche Formen der Visualisierung und Strukturierung von Systembeziehungen am besten geeignet sind, um den Erwerb von mentalen Kausalmodellen zu unterstützen. Die Auseinandersetzung mit didaktischen Möglichkeiten zur Vermittlung dieser Wissensstrukturen führte einerseits zu Ansätzen zur Integration von Text- und Bildmaterial (vgl. SWELLER, 2002), sowie andererseits zu Möglichkeiten zur Sequenzierung von Trainingsinhalten (vgl. WEIDENMANN et al., 1998; REIGELUTH, 1992) und zum Ausmaß an Lernerbeteiligung in den Trainingseinheiten (vgl. LEE & LEE, 1991). In den empirischen Studien 1 und 2 wurden Möglichkeiten zur Umsetzung des Trainingsbausteins 1: Visualisierung und Vermittlung von Komponentenmodellen untersucht. Für die empirischen Studien wurden unterschiedliche Formen der Darstellung von Bildmaterial entwickelt und mit textbasierten Trainingsversionen verglichen. In beiden Studien konnte ein positiver Einfluss der Visualisierung von Systemzusammenhängen auf

das explizierbare Wissen gezeigt werden. Die Auswirkungen auf die Leistung in der Systeminteraktion für manuelle Kontrollaufgaben hingegen sind nicht einheitlich.

Ein wichtiger Faktor bei der Gestaltung von visuellen Trainingsmaterialien ist die Korrespondenz zwischen der Visualisierung und dem Trainingsinhalt. So weist SCHNOTZ (2002) beispielsweise darauf hin, dass die Visualisierung dem Lerninhalt und der zu lernenden Aufgabe entsprechend zu gestalten ist. Mit Blick auf die Ergebnisse der empirischen Studie 1 lässt sich die Frage aufwerfen, inwieweit die gewählten Visualisierungsformen zwar für den Erwerb von Systemwissen, nicht aber für die Anleitung zur manuellen Regelungsaufgabe sinnvoll gewesen sind. Eine mögliche Erklärung für die fehlenden Unterschiede bei der Leistung in der Regelungsaufgabe könnte darin liegen, dass die textbasierte Darstellungsform und die bildliche Ergänzung gleichermaßen geeignet sind, um den Lernenden auf die Regelungsaufgabe vorzubereiten. Demnach erbringt die Anreicherung des Textmaterials durch diese Form der bildlichen Darstellung keinen Vorteil für den Erwerb von manuellen Regelungsfähigkeiten gegenüber der textbasierten Trainingsvariante. Die in der empirischen Studie 1 realisierten Visualisierungen der Systembeziehungen sind den von REIGELUTH (1987) eingeführten Konzepten des Zoomings (die holistische Trainingsvariante) und der Bottom-up Darstellung (die sukzessive Trainingsvariante) angelehnt. In Studien von WEIDENMANN et al. (1998) konnten keine Unterschiede gezeigt werden. In der aktuellen Studie wurden die Versionen dennoch kombiniert, um mögliche Einflüsse in der Kombination mit Lernerbeteiligung oder Systemkontrolle auf den kausalen Wissenserwerb untersuchen zu können. Die Ergebnisse weisen auf einen Vorteil der Bottom-up Darstellung, vor allem in der Kombination mit einem höheren Ausmaß an Lernerbeteiligung, hin. Bezogen auf die Strukturierung wurden unterschiedliche Studien vorgestellt, die den differentiellen Einfluss von Lernerbeteiligung und Systemkontrolle untersuchten (vgl. GRAY, 1987; LEE & LEE, 1991) und sehr uneinheitliche Befunde berichten. Auch mit den Ergebnissen der Studie 1 kann in Bezug auf den Vorteil des Einsatzes von Lernerbeteiligung und Programmkontrolle keine generelle Empfehlung ausgesprochen werden. Es zeigt sich jedoch, dass eine Kombination von sukzessiver Darstellung der Systembeziehungen und einem höheren Ausmaß an Lernerbeteiligung eine Erfolg versprechende Strategie ist, um den Erwerb mentaler Kausalmodelle zu unterstützen.

In der empirischen Studie 2 wurde eine Vorstudie zur Auswahl von geeignetem Bildmaterial für die Trainingsgestaltung durchgeführt. Dabei wurden Prinzipien der Benutzerfreundlichkeit von Informationsdarstellungen am Bildschirm berücksichtigt (vgl. DIN ISO 9241-

12, 1998). Durch die Verwendung des neuen Bildmaterials konnte sowohl im Hinblick auf das verbalisierbare Wissen als auch auf die Leistung bei der Regelungsaufgabe ein Vorteil gegenüber der textbasierten Trainingsversion gezeigt werden. Die Ergebnisse der Studie 2 zeigen, dass es sinnvoll ist, bei der Gestaltung von computerbasiertem Trainingsmaterial auf Kriterien der Benutzerfreundlichkeit zurückzugreifen. Bei der Gestaltung des bildlichen Trainingsmaterials wurde zudem das Kontiguitätsprinzip berücksichtigt (vgl. MORENO & MAYER, 1999, 2000; MAYER & SIMS, 1994). Die gleichzeitige Darstellung von Text und Bild unterschied sich allerdings in den empirischen Studien 1 und 2. In Studie 1 wurde lediglich für das sukzessive Bildmaterial zusätzlich auf eine Reduzierung des Cognitive Load geachtet (vgl. SWELLER, 1999; VAN MEERIENBOER, SCHUURMAN, DE CROOCK & PAAS, 2002), indem zeitgleich nur jeweils korrespondierende bildliche und textbasierte Informationen dargeboten werden. Dieses Vorgehen wurde in der empirischen Studie 2 ebenfalls auf die Visualisierungsvariante angewendet. Für beide Trainingsvarianten konnte in der experimentellen Überprüfung ein Vorteil der Auswirkungen auf den Wissenserwerb gezeigt werden, in der empirischen Studie 1 vor allem für den Erwerb von Systemwissen, in der empirischen Studie 2 sogar für alle Wissensformen. Das Wissen der Probanden wurde anhand von textbasierten Fragebögen erfasst. Es wäre interessant, die Auswirkungen der Trainingsstrategien mit anderen Techniken der Wissensdiagnose, wie z.B. der Heidelberger Struktur-Layout-Technik (SCHEELE & GROEBEN, 1984) oder anderen Formen der grafischen Wissensabfrage zu untersuchen. Eine zusätzliche Möglichkeit wäre eine Wissensabfrage, die es dem Probanden offen lässt, ob er sein erworbenes Wissen grafisch oder textbasiert wiedergeben möchte. Durch dieses Vorgehen könnte man zu Aufschlüssen über die anfängliche Struktur des Faktenwissens gelangen und möglicherweise eine Antwort auf die Frage geben, ob zu Beginn des Erwerbs mentaler Kausalmodelle eine topologische Struktur über die Komponenten des Systems vorhanden ist oder nicht.

Diese Ergebnisse, bezogen auf die empirischen Studien, lassen sich dahingehend zusammenfassen, dass im Zuge der Gestaltung des visuellen Materials von computerbasierten Trainings der sukzessiven Visualisierungsform, basierend auf dem Kontiguitätsprinzip bei einer gleichzeitigen Berücksichtigung der Reduzierung des Cognitive Load der Vorrang zu geben ist.

Bezogen auf das Rahmenmodell lassen sich die Ergebnisse dahingehend zusammenfassen, dass der Ansatz, Trainingsstrategien aus den Modellüberlegungen abzuleiten, gut funktioniert hat. Ausgehend von der Überlegung einer anfänglichen topologischen Repräsentati-

on von Wissensinhalten konnten Strategien zur Visualisierung von Strukturen, insbesondere von topologischen Strukturen, abgeleitet und untersucht werden. Experimentell konnte gezeigt werden, dass die Visualisierung von Wissensstrukturen einen Vorteil gegenüber rein textbasierten Trainingsformen hat. Im Rückschluss auf das Modell bedeutet dies, dass eine Wissensstrukturierung im Sinne einer Topologie hilfreich ist, um eine mentale Repräsentation von Ursache-Wirkungs-Beziehungen zu erwerben.

Auf der Grundlage der empirischen Evidenz lassen sich zudem Empfehlungen für den Einsatz von Visualisierungen und Strukturierungen von computerbasierten Trainingseinheiten aussprechen. Dementsprechend sollten Informationen über Ursache-Wirkungsbeziehungen in das bildliche Trainingsmaterial integriert werden. Bei der Entwicklung des Bildmaterials sollten sowohl Usability-Gestaltungsprinzipien als auch multimedia-didaktische Prinzipien wie das Kontiguitätsprinzip berücksichtigt werden, um die Qualität der computerbasierten Trainingsmaterialien zu erhöhen.

7.2.2 Strukturierte Anleitung von Envisioning und Interaktion

Die zweite Stufe des Wissenserwerbsprozesses, *Envisioning und Interagieren*, führte in der Auseinandersetzung mit möglichen Trainingsansätzen zu Fragen der Gestaltung von Systeminteraktionen (vgl. KLUWE, 1997) sowie der Gestaltung von mentalen Simulationen (vgl. SCHEITER ET AL., 2006; DE KLEER & BROWN, 1982) als Trainingswerkzeug.

Experimentell wurde zum einen der Einfluss der Interaktion mit dem System untersucht. In Verbindung mit einer topologischen Visualisierung zeigten sich für den Einsatz der Systeminteraktion als Trainingswerkzeug in der empirischen Studie 2 positive Auswirkungen auf den Erwerb eines mentalen Kausalmodells. Kritisch ist allerdings anzumerken, dass diese Prozesse im Rahmen von sehr kurzen Trainings- und Testungseinheiten durchlaufen werden mussten. Inwieweit sich die gefundenen Ergebnisse auch langfristig bestätigen, könnte durch eine Untersuchung über einen längeren Zeitraum hinweg (vgl. KLUWE, 1997) geklärt werden. Hierdurch ließen sich Aufschlüsse über die differentielle Entwicklung von spezifischen Wissensarten und Steuerleistungen erbringen.

Zum anderen wurde experimentell die Anleitung von Envisioning untersucht. Zur Umsetzung des Trainingsbausteins 2 in ein computerbasiertes Trainingssystem wurde in Kapitel 5 die Frage aufgeworfen, inwieweit es einen Vorteil bringt, zusätzlich zu dem aktiven Prozess des Experimentierens die mentale Simulation von Prozesszusammenhängen anzuleiten, um

so zu einer vertieften Wissensaneignung zu gelangen. In Kapitel 4.2.3 wurden Studien vorgestellt, in denen der Einfluss von mentaler Simulation auf den Wissenserwerb untersucht wurde. Die Ergebnisse sind nicht eindeutig. Zwar konnte in den berichteten Studien gezeigt werden, dass die Instruktion zum mentalen Simulieren (= Envisioning) Vorteile für den Wissenserwerb erbringt, jedoch keine nachweisbar besseren Erfolge für die Performanz in der Systeminteraktion (vgl. SAUER et al. 2000). Die Ergebnisse von SAUER et al. (2000) decken sich mit denen der empirischen Studie 3. Auch hier wurden positive Auswirkungen auf den Wissenserwerb gefunden sowie ebenfalls positive Auswirkungen auf das verbalisierbare Wissen zu Fehlerdiagnosen und Fehlermanagement gegenüber den Probanden der Kontrollgruppe, die lediglich experimentierte. Allerdings fanden sich keine Unterschiede zwischen den Trainingsgruppen hinsichtlich ihrer Leistung in der Systeminteraktion. Möglicherweise kann hier auf die Erklärung von GINNS et al. (2003) zurückgegriffen werden, in der fehlende Auswirkungen auf die Leistung damit erklärt werden, dass noch keine Schemata aus dem Arbeitsgedächtnis aktivierbar sind, die dazu führen, dass das Wissen handlungsrelevant werden kann. SCHEITER et al. (2006) weisen zudem auf die aus dem Envisioning resultierende hohe Anforderung und somit Beanspruchung hin. Möglicherweise hat die Anleitung von Envisioning-Prozessen dazu geführt, dass die Lerner der Envisioning-Gruppe gegen Ende des Versuchs etwas angestrengter gewesen sind und daher die – gemessen an ihrem vorher diagnostizierten Wissen – schlechtere Leistung in der Systeminteraktion gezeigt haben. Auch hier wäre es sinnvoll, eine größere zeitliche Trennung von Trainings- und Testungsphase einzurichten, um Anstrengungseffekte zu verringern und so bessere Aussagen über die Wirkungen der Trainingsstrategien zu erhalten.

Es wäre interessant, das Zusammenspiel zwischen Envisioning und Interagieren zu untersuchen, insbesondere um detaillierte Empfehlungen für die Trainingsgestaltung ableiten zu können.

Zusammengefasst konnte experimentell gezeigt werden, dass eine Anleitung von Envisioning Vorteile gegenüber einer einfachen Interaktionsphase hat.

Bezogen auf das Rahmenmodell lässt sich zeigen, dass die postulierten Annahmen zum Envisioning und zum Experimentieren eine gute Grundlage gebildet haben, um Trainingsstrategien abzuleiten. Die in der empirischen Studie 2 gefundenen Ergebnisse unterstützen die postulierte Annahme, dass die direkte Interaktion mit dem System wichtig ist, um ein mentales Kausalmodell auszubilden. Die Ergebnisse der empirischen Studie 3 zeigen die positiven Effekte des mentalen Simulierens für den Wissenserwerb auf.

Folgende Empfehlungen lassen sich aus den Ergebnissen der empirischen Studien für die Gestaltung von computerbasierten Trainings ableiten: Trainings sollten so aufgebaut sein, dass sich Wissensaneignungsphasen mit Phasen der aktiven Systeminteraktion abwechseln. Zusätzlich sollte dem Lernenden die Möglichkeit zur mentalen Simulation von (Teil-) Prozessen unter Anleitung angeboten werden. Dies könnte sowohl in Form von virtuellen Tutoren als auch im Rahmen von Mentorenprogrammen umgesetzt werden. Eine weitere Möglichkeit der Anwendung der hier vorgestellten Trainingsbausteine bieten neue Aus- und Weiterbildungskonzepte wie beispielsweise Blended Learning Konzepte (vgl. REINMANN-ROTHMEIER, 2003; OLIVER & TRIGWELL 2005), in denen sich Präsenzphasen mit direkter Wissensvermittlung und computerbasierte Wissensaneignungsphasen im Selbststudium abwechseln.

7.2.3 Systembedienung, Modifikation und Konsolidierung

Die empirischen Ergebnisse zu den weiteren Stufen im Prozess des Erwerbs mentaler Kausalmodelle, d.h. das *Kausalmodell*, die *Systembedienung* sowie *Simulation und Konsolidierung* werden in dem folgenden Kapitel zusammengefasst dargestellt und diskutiert.

Das *Kausalmodell* wurde in den hier berichteten Studien sowohl über Indikatoren zur Güte des Wissens als auch über die Güte der Systemsteuerung ermittelt (vgl. HEUER, 2002). Der Zusammenhang zwischen der Leistung bei Wissenstests und der Leistung bei Aufgaben mit dem zu lernenden System konnte nur bedingt gezeigt werden. Ein Grund für die fehlende Übereinstimmung zwischen dem geäußerten Wissen über das System und die Performanz in der Interaktion mit dem System könnte darin liegen, dass die Güte des Kausalmodells auf der Grundlage von Topologie und Envisioning noch nicht ausgereift ist; wie das Rahmenmodell beschreibt, ist die Handlungsbasis noch nicht sicher ausgebildet. Erst durch weitere Simulationen (DE KLEER & BROWN (1983) sprechen in diesem Zusammenhang von qualitativen Simulationen höherer Ordnung), in enger Verknüpfung mit der Systembedienung kann das Wissen über das System und die Bedienung hinterfragt und validiert werden. Weiterführende Untersuchungen sollten diese Überlegungen aufgreifen und Trainingsansätze zur *Systembedienung* und zur *Simulation und Konsolidierung* experimentell untersuchen.

Für die nächste Stufe im Rahmenmodell, die *Systembedienung*, wurden in der theoretischen Auseinandersetzung mit Trainingsstrategien vor allem die Qualifizierung für die für Operateure anfallenden Aufgaben der Kontroll- und Überwachungstätigkeiten sowie der

Fehlerdiagnose- und Fehlermanagementtätigkeiten diskutiert. Für den Trainingsbaustein der Modifikation und Konsolidierung wurde in Ansätzen untersucht, welche Möglichkeiten es zur Qualifizierung für Fehlerdiagnosetätigkeiten gibt. So wurde im Rahmen der Studie 3 das Bearbeiten von Fehlerszenarien als ein Trainingsinhalt implementiert. In Anlehnung an MORRIS & ROUSE (1986) zielte die Trainingsgestaltung darauf ab, für die Envisioning-Gruppe die verschiedenen Trainingsansätze für Fehlerdiagnosetätigkeiten zu integrieren und sowohl theoretische Grundlagen über das System als auch Problemlösestrategien zu vermitteln, sowie für die Envisioning-Gruppe das Anwenden von Systemwissen und Nutzen von Regeln zur Systeminteraktion anzuleiten. Die Ergebnisse zeigen eine positive Wirkung der Envisioning-Strategie; die Probanden der Envisioning-Gruppe erzielten bessere Ergebnisse in der Wissensdiagnose als die Probanden der Kontrollgruppe. Es zeigten sich allerdings keine unterschiedlichen Einflüsse auf die Systemleistung gegenüber der Kontrollgruppe, ein ähnlicher Befund wie ihn auch ROUSE und MORRIS (1985) für die vier unterschiedlichen Trainingsansätze diskutieren. Eine Überprüfung der Vorteile des Einsatzes von Fehlertrainings gegenüber Trainings ohne das angeleitete Üben fehlerhafter Systemzustände sollte der Inhalt weiterführender Untersuchungen sein.

Bezogen auf diesen Trainingsbaustein können anhand der Ergebnisse der experimentellen Studien keine konkreten Empfehlungen für die Gestaltung in computerbasierten Trainings abgeleitet werden. Es kann lediglich vermutet werden, dass eine Integration der oben dargestellten Trainingsansätze zumindest für den Wissenserwerb förderlich erscheint. Um eine zuverlässige Aussage des Nutzens für die Trainingsgestaltung auszusprechen, sollte dieses Vorgehen allerdings Gegenstand einer eigenen Untersuchung sein. Abschließend sollen an dieser Stelle noch einige theoretische Möglichkeiten für weiterführende Untersuchungen angesprochen werden. Bezogen auf den Trainingsbaustein 3 wurde in Kapitel 5 die Frage aufgeworfen, inwieweit eine in das Training implementierte Wissensdiagnose den Wissenserwerb aktiv unterstützt. Dieser Ansatz ist im Rahmen von computerbasierten Trainings weit verbreitet (vgl. SCHULMEISTER, 2007). Die Wissensdiagnose als Trainingsstrategie wurde in den hier berichteten Studien nicht explizit adressiert. Es könnte aufschlussreich sein, zu untersuchen, inwieweit verschiedene Formen der Wissensdiagnose einen unterschiedlichen Einfluss auf den Wissenserwerb haben. Möglich wären beispielsweise die Variation von Wissensabfragen durch Kartenlege- und Sortierungstechniken (vgl. SCHEELE & GROEBEN, 1984) für die Festigung von visuell vermittelten Strukturen oder der Einsatz von Teach-Back Methoden (vgl. VAN DER VEER & PUERTA MELGUIZO, 2002) in längeren Trainingseinheiten.

Vor dem Hintergrund der Veränderung von Aufgaben von Operateuren in komplexen Systemen könnte ein Ziel weiterer Untersuchungen sein, das Modell sowie das Trainingskonzept im Kontext anderer Aufgaben zu testen. WICKENS und HOLLANDS (2000) weisen auf das Planen und Antizipieren von zukünftigen Zielen und die Antizipation oder Vorhersage von Systemantworten als die Ziele von Prozesskontrolltätigkeiten hin, die sich im Zuge der Automatisierung stetig weiter entwickeln werden. Eine Überprüfung der Trainingsstrategien für diese Aufgabentypen könnte zusätzlich breite Anwendbarkeit von Rahmenmodell und Trainingskonzept absichern.

Zusammenfassend lässt sich abschließen, dass das Rahmenmodell großes Potenzial als Grundlage für die menschenzentrierte Gestaltung von Trainings aufzeigt und dass eine Ableitung und empirische Überprüfung von Trainingsstrategien der noch nicht untersuchten Modellkomponenten notwendig und Erfolg versprechend erscheint.

8 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Durch die technische Weiterentwicklung von Arbeitssystemen entsteht ein Bedarf an neuen Trainings- und Ausbildungskonzepten, in deren Fokus die Qualifizierung für die veränderten Aufgaben stehen sollte, die mit einer zunehmenden Automatisierung einhergehen. Neben traditionellen Lehr- und Lernmethoden bieten neue Ansätze, wie computerbasierte Trainingsmethoden, eine zusätzliche Möglichkeit, spezifische Wissensinhalte zu trainieren. In der vorliegenden Arbeit wurden Möglichkeiten zur Gestaltung von computerbasierten Trainingsstrategien für Aufgaben in komplexen Mensch-Maschine-Systemen entwickelt und einer empirischen Überprüfung unterzogen. Der theoretische Beitrag der Arbeit zur Erforschung der Mensch-Technik-Interaktion liegt in der Formulierung eines Rahmenmodells zum Erwerb mentaler Kausalmodelle, in dem verschiedene Ansätze zu mentalen Modelltheorien integriert und auf den Kontext des Wissenserwerbs in komplexen Mensch-Maschine-System übertragen werden. Auf der Grundlage des Rahmenmodells wurde ein Trainingskonzept für komplexe Systeme entwickelt. Der empirische Beitrag der Arbeit liegt im experimentellen Nachweis der Potenziale des Rahmenmodells als Grundlage für die Untersuchung von Trainingsstrategien. In der Praxis kann das entwickelte Rahmenmodell als Grundlage für die Gestaltung von Trainings eingesetzt werden und für jede Ebene des Wissenserwerbsprozesses Ansatzpunkte zur Gestaltung von Trainingseinheiten liefern. Gerade in frühen Phasen der Entwicklung oder Umgestaltung von Anlagenkomponenten und Automationskonzepten trägt ein Vorgehen in enger Orientierung an dem Rahmenmodell und dem Trainingskonzept dazu bei, die relevanten Informationen, die es zu vermitteln gilt, zu bestimmen und zu strukturieren und es dem Operateur zu ermöglichen, ein gutes mentales Kausalmodell über das zu bedienende System zu erwerben. In Anlehnung an das Trainingskonzept ließen sich beispielsweise die Trainingsinhalte dahingehend strukturieren, welche Wissensinhalte am besten durch eine Visualisierung der Ursache-Wirkungs-Beziehungen dargestellt werden können, für welche Aufgaben sich Phasen der Interaktion eignen oder für welche Wissensinhalte eine Anleitung von Envisioning-Prozessen sinnvoll ist.

Insgesamt liefern die Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit einen wichtigen Ansatzpunkt zur Beschreibung der Wissensanforderungen und Trainingsinhalte für die neuen Aufgaben und damit einen praktischen Ausgangspunkt für die prospektive Gestaltung von computerbasierten Trainingskonzepten für die Ausbildung von Operateuren in komplexen Mensch-Maschine-Systemen.

9 LITERATURVERZEICHNIS

- Bainbridge, L. (1981). Mathematical equations or processing routines? In J. Rasmussen & W. B. Rouse (Hrsg.), *Human detection and diagnosis of system failures* (S. 259-286). New York: Plenum Press.
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19, 775-779.
- Bainbridge, L. (1997). The change in concepts needed to account for human behavior in complex dynamic tasks. *Systems, Man and Cybernetics, Part A, Systems and Humans*, 27 (3), 351-359.
- Bainbridge, L. (1998). *Complex cognition*. Papers by Lisanne Bainbridge. Online verfügbar unter: <http://www.bainbrdg.demon.co.uk/index.html> [Stand: 08.08.2005].
- Bakken, B., Gould, I. & Kim, D. (1992). Experimentation in learning organizations: A management flight simulator approach. *European Journal of Operational Research*, 59, 167-182.
- Bartlett, F. C. (1932). *Remembering. A study in experimental and social psychology*. Cambridge: University Press.
- Bergmann, B. (1999). *Training für den Arbeitsprozess. Entwicklung und Evaluation aufgaben- und zielgruppenspezifischer Trainingsprogramme*. Zürich: vdf.
- Bergmann, B., Wiedemann, J. & Zehrt, P. (1997). Konzipierung und Erprobung eines multiplen Störungsdiagnosetrainings. In K. H. Sonntag & N. Schaper (Hrsg.), *Störungsmanagement und Diagnosekompetenz* (S. 235-254). Zürich: vdf.
- Berry, D. C. (1987). The problem of implicit knowledge. *Expert Systems*, 4, 144-151.
- Berry, D. C. & Broadbent, D. E. (1984). On the relationship between task performance and associated verbalizable knowledge. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 36A, 209-231.
- Berry, D. C. & Broadbent, D. E. (1988). Interactive tasks and the implicit-explicit distinction. *British Journal of Psychology*, 79, 251-272.
- Blum, M. L. & Naylor, J. C. (Hrsg.), (1968). *Industrial psychology*. New York.
- Blumenfeld, W. (1928). Versuch einer Theorie der Übungsvorgänge. *Psychotechnische Zeitschrift*, 3, 30-34.

- Bortz, J. (1999). *Statistik für Sozialwissenschaftler* (5. vollst. überarb. und aktualisierte Aufl.). Berlin: Springer.
- Bortz, J. & Döring, N. (2002). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler* (3. Aufl.). Heidelberg: Springer.
- Broadbent, D. E., Fitzgerald, P. & Broadbent, M. H. P. (1986). Implicit and explicit knowledge in the control of complex systems. *British Journal of Psychology*, 77, 33-50.
- Bürg, O. & Mandl, H. (2004). *Akzeptanz von E-Learning in Unternehmen*. (Forschungsbericht Nr. 167). München: Ludwigs-Maximilians-Universität, Department Psychologie, Institut für Pädagogische Psychologie.
- Carney, R. N. & Levin, J. R. (2002). Pictorial illustrations still improve students' learning from text. *Educational Psychology Review*, 14 (1), 5-26.
- Catrambone, R. & Seay, F. A. (2002). Using animations to help students learn computer algorithms. *Human Factors*, 44, 495-511.
- Clark, J. M. & Paivio, A. (1991). Dual coding theory and education. *Educational Psychology Review*, 3 (3), 149-210.
- Craik, K. (1943). *The nature of explanation*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Cuevas H.M., Fiore S.M., Bowers C.A., & Salas E. (2004). Fostering constructive cognitive and metacognitive activity in computer-based complex task training environments. *Computers in Human Behavior*, 20, 225-241.
- De Keyser, V. (1987). How can computer-based visual displays aid operators? *International Journal of Man-Machine Studies*, 27 (5-6), 471-478.
- De Kleer, J. & Brown, J. S. (1982). Foundations of envisioning. Paper presented at the National Conference on Artificial Intelligence, Pittsburgh, PA.
- De Kleer, J. & Brown, J. S. (1983). Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models. In D. Gentner & A. L. Stevens (Hrsg.), *Mental models* (S. 150-190). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- De Kleer, J. & Brown, J. S. (1986). Theories of causal ordering. *Artificial Intelligence*, 29 (1), 33-61.

- DIN EN ISO 9241-12 (1998). *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten. Teil 12 – Informationsdarstellung*. Berlin: Beuth.
- DIN EN ISO 9241-11 (1999). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion. Teil 11 – Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit*. Berlin: Beuth.
- DIN EN ISO 9241-110 (2006). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion. Teil 110 – Dialogprinzipien*. Berlin: Beuth.
- DIN 40041 (1990). *Zuverlässigkeit. Begriffe*. Berlin: Beuth Verlag
- Dörner, D. (1981). Über die Schwierigkeiten menschlichen Umgangs mit Komplexität. *Psychologische Rundschau*, 32, 163-179.
- Dörner, D. (1989). *Die Logik des Mißlingens. Strategisches Denken in komplexen Situationen*. Hamburg: Rowohlt.
- Druckmann, D. & Bjork, R. (1994). *Learning, remembering, believing: enhancing human performance*. Washington, D.C: National Academic Press.
- Duncan, J. (1981). Directing attention in the visual field. *Perception and Psychophysics*, 30, 90-93.
- Dutke, S. (1988). *Lernvorgänge bei der Bedienung eines Textkommunikationssystems*. Frankfurt a.M.: Peter Lang.
- Dutke, S. (1994). *Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens*. Göttingen: Hogrefe. Verlag für Angewandte Psychologie.
- Dutke, S. (1998): Zur Konstruktion von Sachverhaltsrepräsentationen beim Verstehen von Texten:Fünfzehn Jahre nach Johnson-Lairds Mental Models, *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, 54, 1, S. 42-59.
- Dutke, S. (1999). Der Crossover-Effekt von propositionaler Textrepräsentation und mentalem Modell: Zur Rolle interindividueller Fähigkeitsunterschiede. *Zeitschrift für experimentelle Psychologie*, 46, 164-176.
- Dzida, W., Hofmann, B., Freitag, R., Redtenbacher, W., Baggen, R., Geis, T., Beimel, J., Hartwig, R., Hampe-Neteler, R. & Peters, H. (2001). *Gebrauchstauglichkeit von Software. ErgoNorm: Ein Verfahren zur Konformitätsprüfung von Software auf der Grundlage von DIN EN ISO 9241 Teile 10 und 11*. Schriftenreihe der

- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Forschung Fb 921, Bremerhaven, Wirtschaftsverlag NW.
- Endsley, M. (1995): Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors*, 37, 1, S. 32–64.
- Fiore, S. M., Cuevas, H. M. & Oser, R. L. (2003). A picture is worth a thousand connections: the facilitative effects of diagrams on task performance and mental model development. *Computers in Human Behavior*, 19, 185–199.
- Funke, J. (1992). *Wissen über dynamische Systeme: Erwerb, Repräsentation und Anwendung*. Berlin: Springer.
- Funke, J. (1998). Computer-based testing and training with scenarios from complex problemsolving research: advantages. *International Journal of Selection and Assessment*, 6 (2), 90–96.
- Funke, J. (2003). *Problemlösendes Denken*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Frese, M., Albrecht, K., Altmann, A., Lang, J., Papstein, P. V., Peyerl, R., Prümper, J., Schulte-Göcking, H., Wankmüller, I. & Wendel, R. (1988). The effects of an active development of the mental model in the training process: Experimental results on a word processing system. *Behaviour and Information Technology*, 7, 295-304.
- Gay, G. (1987). Interaction of learner control and prior understanding in computer-assisted video instruction. *Journal of Educational Psychology*, 78, 225-227.
- Gentner, D. (2002). Psychology of mental models. In N. J. Smelser & P. B. Bates (Hrsg.), *International encyclopedia of the social and behavioral sciences* (S. 9683-9687). Amsterdam: Elsevier.
- Gick, M. & Holyoak, K. (1987). The cognitive basis of knowledge transfer. In S. M. Cormier & J. Hagman (Hrsg.), *Transfer of learning: Contemporary research and applications* (S. 9-46). New York: Academic Press.
- Ginns, P., Chandler, P. & Sweller, J. (2003). When imagining information is effective. *Contemporary Educational Psychology*, 28, 229-251.
- Gray, S. H. (1987). The effect of sequence control on computer assisted learning. *Journal of Computer-Based Instruction*, 14 (2), 54-56.

- Gray, W. (2002). Simulated Task Environments: The Role of High-Fidelity Simulations, Scaled Worlds, Synthetic Environments, and Laboratory Tasks in Basic and Applied Cognitive Research. *Cognitive Science Quarterly*, 2, 205-227.
- Greif, S. & Janikowski, A. (1987). Aktives Lernen durch systematische Fehlerexploration oder programmiertes Lernen durch Tutorials? *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 31, 94-99.
- Halasz, F. G. & Moran, T. (1983). Analogy considered harmful. *Proceedings of the Human Factors in Computer Systems Conference*, 383-386.
- Hasebrook, J. (1995). *Multimedia-Psychologie. Eine neue Perspektive menschlicher Kommunikation*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Heuer, J. (2002). *Mentale Modelle komplexer Prozesse. Möglichkeiten zur Qualifikationsförderung und -erhaltung in Prozessleitwarten durch Simulation und Hyper-text-Handbücher*. Kassel: kassel university press.
- Hockey, G. R. J., Wastell, D. & Sauer, J. (1998). Effects of sleep deprivation and user interface on complex performance: a multilevel analysis of compensatory control. *Human Factors*, 40, 233-253.
- Hockey, G.R.J., Sauer, J. & Wastell, D. (2007). Adaptability of training in simulated process control: comparison of knowledge- and rule-based guidance under task changes and environmental stress, *Human Factors*, 49, 158-174.
- Hodes, C. L. (1992). The effectiveness of mental imagery and visual illustrations: A comparison of two instructional variables. *Journal of Research and Development in Education*, 26, 46-56.
- Hollnagel, E. (1990). Die Komplexität von Mensch-Maschine-Systemen. In C. G. Hoyos & B. Zimolong (Hrsg.), *Ingenieurpsychologie* (S. 31-54). Göttingen: Hogrefe.
- Hollnagel, E. (1998). *Cognitive reliability and error analysis method (CREAM)*. Oxford: Elsevier Science Ltd.
- Hollnagel, E. & Cacciabue, C. (1991). Cognitive modelling in system simulation. *Proceedings of the Third European Conference on Cognitive Science Approaches to Process Control*. 1991, S. 1-29. Cardiff, UK.
- Horn, W. (1983). *Leistungsprüfsystem. L-P-S* (2. erw. Aufl.). Göttingen: Hogrefe.

- Johannsen, G. (1993). *Mensch-Maschine-Systeme*. Berlin: Springer-Verlag.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Jordan, M. & Weatherly, T. (2001). Ethylene plant operator training survey results. *Proceedings of the 13th Ethylene Producers Conference* (S. 823–838). Houston, Texas.
- Kieras, D. E. (1988). Towards a practical GOMS model methodology for user interface design. In M. Helander (Hrsg.), *Handbook of Human-Computer Interaction* (S. 135-158). Amsterdam: North-Holland Elsevier.
- Kieras, D. E. & Bovair, S. (1984). The role of a mental model in learning to operate a device. *Cognitive Science*, 8, 255-273.
- Klostermann, A. (2007a). How should causal knowledge about complex technical system be trained? In D. de Waard, G. R. J. Hockey, P. Nickel & K. A. Brookhuis (Hrsg.), *Human Factors Issues in Complex System Performance* (S. 485-490). Maastricht: Shaker Publishing.
- Klostermann, A., Thüring, M. (2007b). Training von Operateuren in der Prozessführung als Bestandteil der prospektiven Gestaltung von Mensch-Technik-Interaktion. In: M. Rötting, G. Wozny, A. Klostermann & J. Huss (Hrsg.), *Prospektive Gestaltung von Mensch-Technik-Interaktion. Tagungsband der 7. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme* (S. 355-358). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Klostermann, A., Thüring, M. (2007c). Visualisation of topological structures as a training tool for acquiring causal models of complex systems. In: W.-P. Brinkman, D.H. Ham & W. Wong (Eds.), *Proceedings of the ECCE 2007 Conference*. USA: lulu Inc, S. 307-308.
- Klostermann, A., Thüring, M. (2008). Enhancing knowledge acquisition by visualising causal structures of system relations [Abstract]. *Proceedings of the International Congress of Psychology (ICP) 2008*, Berlin, Germany.
- Kluge, A. (2004). *Wissenserwerb für das Steuern komplexer Systeme*. Lengerich: Pabst.
- Kluwe, R. (1991). Zum Problem der Wissensvoraussetzungen für Prozess- und Systemsteuerung. *Zeitschrift für Psychologie*, 11, 311-324.

- Kluwe, R. (1996). Informationsverarbeitung, Wissen und mentale Modelle beim Umgang mit komplexen Systemen. In K. H. Sonntag, N. Schaper (Hrsg.), *Störungsmanagement und Diagnosekompetenz* (S. 13-38). Zürich: vdf-Verlag.
- Kluwe, R. (1997). Intentionale Steuerung kognitiver Prozesse. *Kognitionswissenschaft*, 6, 53-69.
- Kluwe, R. & Haider, H. (1990). Modelle zur internen Repräsentation komplexer technischer Systeme. *Sprache und Kognition*, 9 (4), 173-192.
- Kluwe, R., Misiak, C. & Haider, H. (1991). The control of complex systems and performance in intelligence tests. In H. A. H. Rowe (Hrsg.), *Intelligence: Reconceptualization and measurement* (S. 227-244). Hillsdale: Erlbaum.
- Kluwe, R., Misiak, C. & Haider, H. (1989). Modeling the process of system control. In P. Milling & E. Zahn (Hrsg.), *Computer based management of complex systems*. (S.335-342). Berlin: Springer.
- Kragt, H. & Landeweerd, J. A. (1974). Mental skills in process control. In E. Edwards & F. P. Lees (Hrsg.), *The human operator in process control* (S. 135-145). London: Taylor & Francis.
- Kroll, A. & Nußko, M. (2005). Zur computerbasierten Schulung von Anlagenfahrern in der Chemischen Industrie. *at – Automatisierungstechnik*, 53 (3), 125-139.
- Landeweerd, J. A. (1979). Internal representation of a process, fault diagnosis and fault correction. *Ergonomics*, 22 (12), 1343-1351.
- Landeweerd, J. A., Seegers, H. J. J. L. & Praagman, J. (1981). Effects of instruction, visual imagery and educational background on process control performance. *Ergonomics*, 24 (2), 133-141.
- Larkin, J. (1983). The role of problem representation in physics. In D. Gentner & A. Stevens (Hrsg.), *Mental models* (S. 75–98). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Larkin, J. H. & Simon, H. A. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science*, 11, 65-99.
- Lee, S.-S. & Lee, Y. H. K. (1991). Effects of learner-control versus program-control strategies on computer-aided learning of chemistry problems. *Journal of Educational Psychology*, 83 (4), 491-498.

- Levin, J. R., Anglin, G. J. & Carney, R. N. (1987). On empirically validating functions of pictures in prose. In D. M. Willows & H. A. Houghton (Hrsg.), *The psychology of illustration 1* (S. 51-85). New York: Springer.
- Lorenz, B., Di Nocera, F., Röttger, S. & Parasuraman, R. (2002). Automated fault management during simulated space flight. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 73, 886-897.
- Lowe, R. K. (1999). Extracting information from an animation during complex visual learning. *European Journal of Psychology of Education*, 14, 225-244.
- Mandl, H. & Kopp, B. (2006). *Blended Learning: Forschungsfragen und Perspektiven*. (Forschungsbericht Nr. 182). München: LMU, 2006.
(<http://epub.ub.unimuenchen.de/archive/00000905/01/Forschungsbericht182.pdf>).
- Mandl, H. & Spada, H. (1988). *Wissenspsychologie*. München- Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Mandl, H. & Winkler, K. (2004). E-Learning – Trends und zukünftige Entwicklungen. In K. Rebensburg (Hrsg.), *Grundfragen Multimedialen Lehrens und Lernens* (S. 17-29). Norderstedt: Books on Demand.
- Manzey, D., Bleil, M., Bahner-Heyne, J.E., Klostermann, A., Onnasch, L., Reichenbach, J. & Röttger, S. (2008). *AutoCAMS 2.0. Manual*. Available from www.aio.tu-berlin.de/?id=30492 [19 February 2009].
- Manzey, D., Reichenbach, J. & Onnasch, L. (2009). Human performance consequences of automated decision aid in states of fatigue. *Proceedings of the HFES 53rd Annual Meeting*, Santa Monica: Human Factors and Ergonomics Society.
- Mayer, R. E. (1989). Systematic thinking fostered by illustrations in scientific text. *Journal of Educational Psychology*, 81, 240-246.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. & Moreno, R. (2002). Animation as an aid to multimedia learning. *Educational Psychology Review*, 14 (1), 87-100.
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38 (1), 43-52.

- Mayer, R. E. & Sims, V. K. (1994). For whom is a picture worth a thousand words? Extensions of a dual-coding theory of multimedia learning. *Journal of Educational Psychology, 86*, 389-401.
- Moray, N. (1990). Mental models of complex systems. In N. Moray, W. R. Ferrell & W. B. Rouse (Hrsg.), *Robotics, Control and Society. Essays in honor of Thomas B. Sheridan* (S. 133-149). London: Taylor and Francis Ltd.
- Moray, N. (1997). Models of Models of... Mental Models. In T. B. Sheridan & T. Van Lunteren (Hrsg.), *Perspectives on the Human Controller* (S. 271-285). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Moray, N. (1999). Mental models in theory and practice. In D. Gopher & A. Koriat (Hrsg.), *Attention and performance XVII: Cognitive regulation of performance: Interaction of theory and application* (S. 223-258). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Moray, N. (2007). The human factors of complex systems: a personal view. In D. de Waard, G. R. J. Hockey, P. Nickel & K. A. Brookhuis (Hrsg.), *Human Factors Issues in Complex System Performance* (S. 11-40). Maastricht: Shaker Publishing.
- Moray, N., Lootsteen, P. & Pajak, J. (1986). Acquisition of process control skills. *IEEE Transactions on Systems, Man, & Cybernetics, 16*, 497-504.
- Moreno, R. & Mayer, R. E. (1999). Cognitive principles of multimedia design: the role of modality and contiguity. *Journal of Educational Psychology, 91*, 358-368.
- Moreno, R. & Mayer, R. E. (2000). A coherence effect in multimedia learning : The case for minimizing irrelevant sounds in the design of multimedia instructional messages. *Journal of Educational Psychology, 92* (1), 117-125.
- Morris, N. M. & Rouse, W. B. (1985). Review and evaluation of empirical research on troubleshooting. *Human Factors, 27* (5), 503-530.
- Moosbrugger, H. & Oehlschlägel, J. (1996). *Frankfurter Aufmerksamkeits-Inventar (FAIR)*. Bern: Huber.
- Münsterberg, H. (1914). *Grundzüge der Psychotechnik*. Leipzig: J. A. Barth.
- Mumaw, R. J., Roth, E. M., Vicente, K. J. & Burns, C. M. (2000). There is more to monitoring a nuclear power plant than meets the eye. *Human Factors, 42* (1), 36-55.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology*. New York: Meredith.

- Norman, D.A. (1983). Some observations on mental models. In D. Gentner & A. L. Stevens (Hrsg.), *Mental Models* (7-14). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Norman, D.A. (1987). Some observations on mental models. In R. M. Baecker & W. A. S. Buxton (Hrsg.), *Readings in human-computer interaction* (S. 214-244). Los Altos, Calif.: Morgan Kaufmann Publishers, Inc.
- Oliver M. & Trigwell, K. (2005). Can 'blended learning' be redeemed? *ELearning*, 2 (1), 17-26.
- Oswald, M. & Gadenne, V. (1984). Wissen, Können und künstliche Intelligenz. Eine Analyse der Konzeption des deklarativen und prozeduralen Wissens. *Sprache und Kognition*, 3, 173-184.
- Paivio, A (1986). *Mental representations: a dual coding approach*. Oxford: Oxford University Press.
- Palmiter, S. & Elkerton, J. (1993). Animated demonstrations for learning procedural computer-based tasks. *Human-Computer Interaction*, 8, 193-216.
- Pane, J. F., Corbett, A. T. & John, B. E. (1996). Assessing dynamics in computer-based instruction. In M. J. Tauber (Hrsg.), *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 797-804). Vancouver, Canada: ACM.
- Parasuraman, R., Sheridan, T.B. & Wickens, C. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics – Part A: Systems and Humans*, 30, 286–297.
- Patrick, J., Haines, B., Munley, G. & Wallace, A. (1989). Transfer of fault-finding between simulated chemical plants. *Human Factors*, 31 (5), 503-518.
- Peirce, C. S. (1906). Prolegomena to an apology for pragmatism. *Monist* 492–546.
- Perrow, C. (1992). *Normale Katastrophen. Die unvermeidlichen Risiken der Großtechnik*. Frankfurt/Main, New York: Campus-Verlag.
- Putz-Osterloh, W., Bott, B. & Houben, I. (1988). Beeinflußt Wissen über ein realitätsnahes System dessen Steuerung? *Sprache & Kognition*, 7, 240-251.
- Rasmussen, J. (1983). Skills, rules and knowledge; signals, signs, symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 13 (3), 257-266.

- Rasmussen, J. (1986). *Information processing and human-machine interaction*. Amsterdam: Elsevier North-Holland.
- Rasmussen, J. & Lind, M. (1981). *Coping with complexity*, Risø National Laboratory, DK-4000 Roskilde, Denmark, June 1981. [Risø-M-2293].
- Reigeluth, C. M. (1987). Lesson blueprints based on the elaboration theory of instruction. In C. M. Reigeluth (Hrsg.), *Instructional theories in action: Lessons illustrating selected theories and models* (S. 245-288). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Reigeluth, C. M. (1992). Elaborating the elaboration theory. *Educational Technology Research and Development*, 40 (3), 80–86.
- Reimann, P. & Chi, M. T. H. (1989). Human Expertise. In K. J. Gilhooly (Hrsg.), *Human and machine problem solving* (S. 161-191). New York: Plenum.
- Reinmann-Rothmeier, G. (2003). Didaktische Innovation durch Blended-Learning. Göttingen: Hans Huber.
- Rey, G., D. (2009). *E-Learning. Theorien, Gestaltungsempfehlung und Forschung*. Verlag Hans Huber: Bern.
- Rodriguez, (1994). *Verbesserung der Schnittstelle Mensch-Maschine*. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit.
- Röttger, S., Klostermann, A. & Manzey, D. (2007). An information theory-based approach to measure orderliness of control behavior. In M. Rötting, A. Klostermann, J. Huss & G. Wozny (Hrsg.), *Prospektive Gestaltung von Mensch-Technik-Interaktion. Tagungsband der 7. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme* (S. 131-136). Düsseldorf: VDI Verlag.
- Roth, E. M. & Woods, D. D. (1988). Aiding human performance: I. Cognitive analysis. *Le Travail Humain*, 51, 39-64.
- Rouse, W. B. (1981). Human-computer interaction in the control of dynamic systems. *Computing Surveys*, 13 (1), 71-99.
- Rouse, W. B. & Morris, N. M. (1986). On looking into the black box: Prospects and limits in the search for mental models. *Psychological Bulletin*, 100 (3), 349-63.

- Ross, S. M. & Rakow, E. A. (1981). Learner control vs. program control as adaptive strategies for selection of instructional support on math rules. *Journal of Educational Psychology*, 73, 745-753.
- Rumelhart, D. E. & Ortony., A (1977). Representation of knowledge. In R. C. Anderson, R. J. Spiro & W. E. Montague (Hrsg.), *Schooling and the acquisition of knowledge* (S. 99-135). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Ryle, G. (1949). *The Concept of Mind*. London: Hutchinson.
- Sarter, N., Woods, D. D. & Billings, C. (1997). Automation surprises. In G. Salvendy, (Hrsg.) *Handbook of Human Factors/Ergonomics* (2. Auflage). New York: John Wiley & Sons.
- Sauer, J., Wastell, D. G. & Hockey, G.R.J. (2000). A conceptual framework for designing microworlds for complex work domains: a case study of the Cabin Air Management System. *Computers in Human Behavior*, 16, 45-58.
- Schaich, D. & Friedrich, M. (2003). Operator-Training Simulation (OTS) in der chemischen Industrie – Erfahrungen und Perspektiven. *atp – Automatisierungstechnische Praxis*, 45 (2), 38-48.
- Schaub, H. (1993). *Modellierung der Handlungsorganisation*. Bern: Huber.
- Scheele, B., Groeben, N. (1984). *Die Heidelberger Struktur-lege-Technik (SLT). Eine Dialog-Konsens-Methode zur Erhebung subjektiver Theorien mittlerer Reichweite*. Weinheim, Basel.
- Scheiter, K., Gerjets, P. & Catrambone, R. (2006). The use of visualizations to foster the acquisition of problem-solving skills in mathematics: Which kind of visualization works? *Computers in Human Behavior* 22 (1), 9-25.
- Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82 (4), 225-259.
- Schnotz, W. (1994). *Aufbau von Wissensstrukturen. Untersuchungen zur Kohärenzbildung bei Wissenserwerb mit Texten*. Weinheim: Psychologie Verlags-Union.
- Schnotz, W. (2002). Towards an integrated view of learning from text and visual displays. *Educational Psychology Review*, 14 (1), 101-120.

- Schnotz, W. & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction, 13* (2), 141-156.
- Schulmeister, R. (2007). *Grundlagen hypermedialer Lernsysteme. Theorie – Didaktik - Design*. (4. Auflage). München: Oldenbourg.
- Shah, P. & Hoeffner, J. (2002). Review of graph comprehension research: Implications for instruction. *Educational Psychology Review, 14*, 47-69.
- Shank, R. & Abelson, R. (1977). *Scripts, plans, goals and understanding*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Shapiro, A. M. (1998). Promoting active learning: The role of system structure in learning from hypertext. *Human-Computer Interaction, 13*, 1-35.
- Sheridan, T. B. (1960). Experimental analysis of time-variation of the human operator's transfer function. *Proceedings of the IFAC World Congress, Moskau*.
- Sheridan, T. B. (1992). *Telerobotics, automation, and human supervisory control*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Sheridan, T. B. (1997). Task analysis, task allocation and supervisory control. In M. Heider, T. K. Landauer & P. V. Prabhu (Hrsg.), *Handbook of Human-Computer Interaction* (S. 87-106). Amsterdam: Elsevier.
- Sheridan, T. B. & Parasuraman, R. (2006). Human-automation interaction. *Reviews of Human Factors and Ergonomics, 1*, 89-129.
- Sheridan, T. B. (2002). *Humans and automation: System design and research issues*. New York: Wiley.
- Strohschneider, S. (2008). Human-Factors-Training. In P. Badke-Schaub, G. Hofinger & K. Lauche (Hrsg.), *Human Factors. Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Süß, H.-M. (1996). *Intelligenz, Wissen und Problemlösen*. Göttingen: Hogrefe.
- Sweller, J. (1999). *Instructional design in technical areas*. Melbourne: ACER Press.
- Sweller, J. (2002). Visualisation and instructional design. In R. Ploetzner (Hrsg.), *International Workshop on Dynamic Visualizations and Learning* (S. 1501-1510). Tübingen: Knowledge Media Research Center.

- Tennyson, R.D., Park, O. & Christensen, D. (1985). Adaptive control of learning time and content sequence in concept learning using computerbased instruction. *Journal of Educational Psychology*, 77 (4), 481-491.
- Thüring, M. (1991). *Probabilistisches Denken in kausalen Modellen*. Weinheim: Psychologie-Verlags-Union.
- Timpe, K.-P. & Kolrep, H. (2002). Das Mensch-Maschine-System als interdisziplinärer Gegenstand. In K.-P. Timpe, T. Jürgensohn & H. Kolrep (Hrsg.), *Mensch-Maschine-Systemtechnik. Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation* (2. Auflage, S. 9-40). Düsseldorf: Symposium.
- Urbas, L. (1999). Entwicklung und Realisierung einer Trainings- und Ausbildungsumgebung zur Schulung der Prozessdynamik und des Anlagenbetriebs im Internet. Dissertation. Düsseldorf: VDI-Verlag (Fortschritt-Berichte VDI Reihe 19, Nr.614).
- Van Merriënboer, J. J. G., Schuurman, J. G., De Croock, M. B. M. & Paas, F. G. W. C. (2002). Redirecting learners' attention during training: effects on cognitive load, transfer test performance and training efficiency. *Learning and Instruction*, 2 (1), 11-37.
- Van der Veer, G.C. & Puerta Melguizo, M.C. (2002). Mental models. In J.A. Jacko & A. Sears (Hrsg.) *The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, evolving Technologies and emerging applications*. (S.52-80). Uitgever: Lawrence Erlbaum & Associates.
- Weidenmann, B. Paechter, M. & Hartmannsgruber, K. (1998). Strukturierung und Sequenzierung von komplexen Text-Bild-Kombinationen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 12 (2/3), 112-124.
- Wertheimer, M. (1925). *Drei Abhandlungen zur Gestalttheorie*. Erlangen: Verlag der Philosophischen Akademie.
- Wiedemann, J. (1995). *Ermittlung von Qualifizierungsbedarf - am Beispiel der Störungsdiagnose in der flexibel automatisierten Fertigung*. Dissertation, Internationale Hochschulschriften (Bd. 184), Münster: Waxmann.
- Wickens, C. D. (1984). *Engineering psychology and human performance*. Columbus, OH: Merrill.

- Wickens, C. D. & Hollands, J. G. (2000). *Engineering psychology and human performance* (3. Aufl.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Young, R.M. (1983). Surrogates and mappings: two kinds of conceptual models for interactive devices. In O. Gentner & A. T. Stevens, *Mental Models*, (S. 35-52). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Young, J. D. (1996). The effect of self-regulated learning strategies on performance in learner controlled computer-based instruction. *Educational Technology Research and Development*, 44 (2), 17–27

10 ELEKTRONISCHER ANHANG

(Der elektronische Anhang ist auf Anfrage bei der Verfasserin erhältlich.)

Elektronischer Anhang A:

Anhang A.1: Trainingsvarianten der empirischen Studie 1

Anhang A.2: Demographischer Fragebogen

Anhang A.3: Wissensfragebogen mit Referenzantworten

Anhang A.4: Ergebnisse der statistischen Analysen der empirischen Studie 1

Elektronischer Anhang B:

Anhang B.1: Material der Voruntersuchung

Anhang B.2: Trainingsvarianten

Anhang B.3: Demographischer Fragebogen für die empirischen Studie 2

Anhang B.4: Wissensfragebogen mit Referenzantworten

Anhang B.5: Ergebnisse der statistischen Analysen der empirischen Studie 2

Elektronischer Anhang C:

Anhang C.1: demographischer Fragebogen

Anhang C.2: Trainingsvarianten der Studie 3

Anhang C.3: Kontrollbogen (Envisioning-Checkliste)

Anhang C.4: Wissensfragebogen mit Referenzantworten

Anhang C.5: Ergebnisse der statistischen Analysen der empirischen Studie 3