

Holistic Workspace – Gestaltung von realitätsbasierten Interaktions- und Visualisierungskonzepten im Kontext von Leitwarten

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
des Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

vorgelegt
von
Tobias Schwarz

an der Universität Konstanz
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Sektion
Fachbereich Informatik und Informationswissenschaft

Tag der mündlichen Prüfung: 01.07.2015

Referent: Prof. Dr. Harald Reiterer (Universität Konstanz)

Referent: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Detlef Zühlke (Technische Universität Kaiserslautern)

Prüfungsvorsitz: Prof. Dr. Daniel Keim (Universität Konstanz)

Konstanz, Dezember 2014

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen einer Kooperation zwischen dem Fachzentrum für User Interface Design der Siemens AG, Corporate Technology und der Arbeitsgruppe Mensch-Computer Interaktion der Universität Konstanz.

Ohne die Hilfe und Unterstützung einer Vielzahl an Personen hätte sich mein Forschungsvorhaben nicht realisieren lassen.

Ich möchte mich daher bei Herrn Prof. Dr. Harald Reiterer für die Betreuung dieser Arbeit, insbesondere für die vielen anregenden fachlichen Diskussionen bedanken. Ein ganz besonderer Dank geht an Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Detlef Zühlke für das meiner Arbeit entgegengebrachte Interesse und die Bereitschaft, das Zweitgutachten zu erstellen. Ferner danke ich Herrn Prof. Dr. Daniel Keim für die Übernahme des Vorsitzes der Promotionskommission.

Hervorzuheben sind auch Herr Dr.-Ing. Holger Oortmann und Klaus Hermes, die mich in allen Phasen als Betreuer der Siemens AG begleitet haben. Außerdem danke ich Flavius Kehr für seinen Einsatz bei den Untersuchungen in den Leitwarten. Besonders bedanken möchte ich mich bei Simon Butscher, Felix Lauber und Jens Müller, die im Rahmen ihrer Abschlussarbeiten mit sehr viel Hingabe im Projekt *Holistic Workspace* mitgewirkt haben.

Zu guter Letzt möchte ich mich von ganzem Herzen bei meiner Familie für die Unterstützung bedanken.

Zusammenfassung

Die technische Evolution im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien hat in den letzten Jahren auch in der Prozessführung zunehmend an Bedeutung gewonnen. Durch den Anstieg von Automatisierung und Virtualisierung befindet sich die Arbeitswelt der Operatoren im Kontext von Leitwarten in einem tiefgreifenden Strukturwandel. Mit dieser Entwicklung geht ein zunehmender Funktionsumfang einher, der eine hohe Anforderung an die kognitiven Fähigkeiten von Menschen stellt. Während Operatoren in der frühen analogen Prozessführung unmittelbar in den technischen Prozess involviert gewesen sind, besteht heute eine große kognitive Distanz zum technischen Prozess. Somit ist es für den Operator schwierig, sich ein angemessenes mentales Modell zu bilden. Diese Entwicklung beeinträchtigt die Nachvollziehbarkeit der zu überwachenden Prozesse. Die in heutigen Leitwarten vorherrschende Interaktionsform der herkömmlichen Desktop-Systeme verstärkt diesen Effekt zusätzlich. Durch die Interaktion mit Maus und Tastatur sowie die Prozessvisualisierung über unzählige Bildschirme hinweg ist die sinnlich-körperliche Wahrnehmung beschränkt. Der Operator wird nicht ausreichend mit seinen angeborenen Fähigkeiten, z. B. dem Körperbewusstsein, unterstützt.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der ganzheitlichen Gestaltung einer Arbeitsumgebung für Operatoren unter der Berücksichtigung neuer Ansätze der Mensch-Computer-Interaktion. Vor dem Hintergrund einer stetig ansteigenden Komplexität der Mensch-Maschine-Schnittstelle wird zunächst der Nutzungskontext im Rahmen einer Anforderungsanalyse über verschiedene Leitwartendomänen hinweg betrachtet. Die mittels teilnehmender Beobachtung und teilstrukturierter Interviews durchgeführte Erhebung hat die Zielsetzung, domänenübergreifende Tätigkeiten zu identifizieren und neue Interaktionstechnologien mit den Experten zu diskutieren. Die gewonnenen Erkenntnisse bilden die Basis für neue Interaktions- und Visualisierungskonzepte. Das Leitbild der Konzeptentwicklung umfasst die Prinzipien der realitätsbasierten Interaktion, die sowohl den Operator mit seinen Fähigkeiten und Vorkenntnissen als auch den situativen Kontext der Arbeitsumgebung hervorheben. Basierend auf dem Interaktionsparadigma der *Blended Interaction*, die sich an der realitätsbasierten Interaktion orientiert, finden sowohl die persönliche und soziale Interaktion, die Arbeitsabläufe als auch die physische Umgebung innerhalb der Arbeitsplatzgestaltung Berücksichtigung. Dabei werden erlernte und evolutionsbedingte Charakteristika des Operators genutzt, um die Interaktion (be)greifbarer zu gestalten. Die Anwendungsmöglichkeiten der *Blended Interaction* werden anhand von *Design Cases* sowohl für die Überwachungs- und Diagnosetätigkeiten als auch für die Manipulation von Prozessvariablen und deren Dokumentation verdeutlicht. In empirischen Studien werden die Konzepte eines möglichen Paradigmenwechsels hin zu neuen Interaktionsformen untersucht und diskutiert.

Der Forschungsbeitrag dieser Arbeit umfasst die Vorstellung einer neuartigen Methodik zur Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle in Leitwarten. Deren praktische Anwendung beruht auf empirischen Daten. *Blended Interaction* wird als Grundlagenmodell für die Gestaltung ganzheitlicher Konzepte herangezogen, weil sie durch die digitalen und realweltlichen Ansatzpunkte neue Möglichkeiten zur Gestaltung der Arbeitsumgebung von Operatoren in Leitwarten liefert. Anhand von Interaktions- und Visualisierungskonzepten für unterschiedliche Domänen wird der Gestaltungsansatz exemplarisch aufgezeigt. Durch die Darlegung des erfolgreichen Einsatzes dieser Vorgehensweise erscheint eine Überprüfung in weiteren Operatortätigkeiten vielversprechend.

Abstract

The technical evolution of information and communication technologies has had a growing impact over the past few years, not least on process management. The increase in automation and virtualization has resulted in a profound structural change in the work environment of control room operators. This development is accompanied by a wider range of functions that place high demands on people's cognitive skills. While operators in earlier, analog process management used to be directly involved in the technical process, today they are at a much greater cognitive distance from the technical process. This makes it difficult for operators to build an adequate mental model, which in turn impacts negatively on the transparency of the processes they have to supervise. The form of interaction predominant in today's control rooms is the conventional desktop system, which further amplifies this effect. Interaction using mouse and keyboard as well as process visualization based on numerous screens, restricts the operator's sensory and physical perception of the process status. Operators are not adequately supported in terms of their innate abilities, such as body awareness.

This thesis deals with the issue of designing a holistic work environment for control room operators, taking due account of new approaches to human-computer interaction. In light of the growing complexity of the human-machine interface, the study first looked at the context of use by conducting a requirements analysis across a variety of control room domains. The aim of the research, which was carried out by means of participative observation and partially structured interviews, was to identify domain-overarching activities and discuss new interaction technologies with the experts. The findings constituted the basis for new interaction and visualization concepts. The model behind the concept development embraces the principles of reality-based interaction, which emphasize both the operators with their skills and prior knowledge and the situation-specific context of the work environment. Based on the interaction paradigm of *Blended Interaction*, which is guided by reality-based interaction, the workplace design process gives equal consideration to personal and social interaction, workflows, and also the physical environment. Learned and evolution-related characteristics of operators are used to make the interaction more tangible and therefore more understandable. The application possibilities of *Blended Interaction* are illustrated by *design cases* for monitoring and diagnostic operations as well as for the manipulation of process variables and their documentation. The concepts of a possible paradigm shift toward new forms of interaction are examined in empirical studies and discussed.

This thesis contributes to research by presenting an innovative methodology for designing the human-machine interface in control rooms. Its practical applications are based on empirical data. *Blended Interaction* is used as the basic model for creating holistic concepts because it provides new ways of designing the work environment of control room operators by starting from digital and real-world perspectives. The design approach is illustrated by examples of interaction and visualization concepts for different domains. The thesis explains how this strategy can be successfully applied, and concludes that promising results can be expected from a study of further control room operations.

Publikationen

Teile dieser Arbeit sind in folgenden Publikationen veröffentlicht worden. In den jeweiligen Abschnitten werden zu Beginn die bereits publizierten Teile nochmals explizit genannt.

Journalartikel

Schwarz, Tobias; Butscher, Simon; Müller, Jens; Reiterer, Harald: Blended Interaction – Neue Wege zur Vermischung realer und digitaler Interaktionskonzepte im Kontext von Leitwarten. In *at – Automatisierungstechnik (Multimodale Interaktion)*, Oldenbourg Verlag, S. 749-759, November 2013.

Schwarz, Tobias; Müller, Jens; Butscher, Simon; Reiterer, Harald: Die Wiederentdeckung analoger Interaktionsqualitäten in der digitalen Leitwarte. In *i-com*, Oldenbourg Verlag, S. 25-33, November 2013.

Schwarz, Tobias; Oortmann, Holger; Reiterer, Harald: Holistic Workspace – Leitstand der Zukunft gestalten! – Wie neue Technologien die Operatoren unterstützen. In *atp edition – Automatisierungstechnische Praxis*, Oldenbourg Verlag, S. 44-50, Juni 2011.

Konferenzbeiträge

Müller, Jens; **Schwarz, Tobias;** Butscher, Simon; Reiterer, Harald: Back to tangibility: a post-WIMP perspective on control room design. In *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces – AVI '14*, Como (Italy), ACM Press, P. 57-64, May 2014.

Schwarz, Tobias; Müller, Jens; Butscher, Simon; Reiterer, Harald: Holistic Workspace – Neue Interaktionsformen für die Leitwarte der Zukunft. In *USEWARE 2012 – Mensch-Maschine-Interaktion (VDI-Berichte 2179)*, Kaiserslautern (Deutschland), VDI Verlag, S. 183-195, Dezember 2012.

Schwarz, Tobias; Butscher, Simon; Müller, Jens; Reiterer, Harald: Ein Multi-Focus-View Konzept im Kontext der Verkehrsleitzentrale. In *Mensch & Computer 2012: interaktiv informiert – allgegenwärtig und allumfassend!?*, Konstanz (Deutschland), Oldenbourg Verlag, S. 43-52, September 2012.

Müller, Jens; **Schwarz, Tobias;** Butscher, Simon; Reiterer, Harald: Exploring former interaction qualities for tomorrow's control room design. In *Mensch & Computer 2012: interaktiv informiert – allgegenwärtig und allumfassend!?*, Konstanz (Deutschland), Oldenbourg Verlag, S. 377-380, September 2012.

Schwarz, Tobias; Butscher, Simon; Müller, Jens; Reiterer, Harald: Content-aware navigation for large displays in context of traffic control rooms. In *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces – AVI '12*, Capri Island (Italy), ACM Press, P. 249-252, May 2012.

Schwarz, Tobias; Hennecke, Fabian; Lauber, Felix; Reiterer, Harald: Perspective+Detail – a visualization technique for vertically curved displays. In *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces – AVI '12*, Capri Island (Italy), ACM Press, P. 485-488, May 2012.

Schwarz, Tobias; Butscher, Simon; Müller, Jens; Reiterer, Harald: Inhaltssensitive Navigation in der Verkehrsleitzentrale. In *Mensch & Computer 2011: überMEDIEN|ÜBERmorgen*, Chemnitz (Deutschland), Oldenbourg Verlag, S. 49-58, September 2011.

Schwarz, Tobias; Heilig, Mathias; Butscher, Simon; Müller, Jens; Reiterer, Harald: Die Gestaltung der Arbeitsumgebung von Operatoren (k-) ein Platz für Innovationen? In *AUTOMATION 2011 (VDI-Berichte 2143)*, Baden-Baden (Deutschland), VDI Verlag, Juni 2011.

Schwarz, Tobias; Kehr, Flavius; Oortmann, Holger; Reiterer, Harald: Die Leitwarte von heute verstehen – die Leitwarte von morgen gestalten! In *Mensch & Computer 2010: Interaktive Kulturen*, Duisburg (Deutschland), Oldenbourg Verlag, S. 93-102, September 2010.

Schwarz, Tobias; Kehr, Flavius; Hermes, Klaus; Reiterer, Harald: Holistic Workspace: Future Control Room Design. In *Proceedings of International Conference on Interfaces and Human Computer Interaction – IADIS '10*, Freiburg (Deutschland), IADIS Press, P. 305-308, July 2010.

Schwarz, Tobias; Oortmann, Holger; Reiterer, Harald: Holistic Workspace – The next generation control room. In *AUTOMATION 2010 – Leading through Automation (VDI-Berichte 2092)*, Baden-Baden (Deutschland), VDI Verlag, Juni 2010.

Poster und Workshops

Butscher, Simon; Müller, Jens; **Schwarz, Tobias;** Reiterer, Harald: Blended Interaction as an Approach for Holistic Control Room Design. In *Workshop Blended Interaction: Envisioning Future Collaborative Interactive Spaces, SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems – CHI '13*, Paris (France), April 2013.

Jetter, Hans-Christian; Geyer, Florian; **Schwarz, Tobias;** Reiterer, Harald: Blended Interaction – Toward a Framework for the Design of Interactive Spaces. In *Workshop Designing Collaborative Interactive Spaces (DCIS), International Working Conference on Advanced Visual Interfaces – AVI '12*, Capri Island (Italy), May 2012.

Schwarz, Tobias; Müller, Jens; Butscher, Simon; Reiterer, Harald: Reality-based Interaction in Control Room. In *Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter Conference – HFSE '11 (Poster Session)*, Leeds (United Kingdom), October 2011.

Butscher, Simon; **Schwarz, Tobias;** Müller, Jens; Reiterer, Harald: Monitoring of processes and manipulation of process variables in the context of a multi-user setting in a traffic control room. In *Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter Conference – HFSE '11 (Poster Session)*, Leeds (United Kingdom), October 2011.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	iii
Zusammenfassung	v
Abstract	vii
Publikationen	ix
Inhaltsverzeichnis	xi
Abbildungsverzeichnis	xiii
Tabellenverzeichnis	xvii
1 Einführung	1
1.1 Motivation.....	3
1.2 Wissenschaftlicher Beitrag.....	4
1.2.1 Entwicklungen in der Forschung.....	5
1.2.2 Forschungsfragen.....	9
1.3 Aufbau der Arbeit.....	12
2 Die Leitwarte als Designdomäne	13
2.1 Einführung in die Designdomäne.....	14
2.2 Wahrnehmung im Kontext der Arbeitshandlung.....	16
2.2.1 Informationsverarbeitung des Menschen.....	16
2.2.2 Arbeitsweisen im Wandel der Zeit.....	20
2.3 Evolution der Leitwarten.....	21
2.3.1 Erstes Paradigma: Dezentrale manuelle Prozessführung.....	22
2.3.2 Zweites Paradigma: Zentrale manuelle Prozessführung.....	23
2.3.3 Drittes Paradigma: Zentrale digitale Prozessführung.....	24
2.4 Zusammenfassung und Implikation.....	32
3 Untersuchung der Arbeitsumgebung	35
3.1 Verwandte Arbeiten.....	36
3.2 Nutzungskontextanalyse.....	38
3.2.1 Klassifizierung der untersuchten Domänen.....	39
3.2.2 Methoden zur Datenerhebung und Ablauf der Untersuchung.....	42
3.2.3 Ergebnisse.....	45
3.3 Zusammenfassung und Implikation.....	57
4 Holistic Workspace	61
4.1 Herausforderungen für die zukünftige Benutzungsschnittstelle.....	62
4.2 Neue Formen der Interaktion für die Leitwarte.....	63
4.2.1 Embodied und Reality-based Interaction.....	63
4.2.2 Verwandte Arbeiten im Leitwartenkontext.....	72
4.3 Reale und digitale Interaktionsformen für die Leitwarte.....	78
4.3.1 Der Weg in das vierte Paradigma der Prozessführung.....	78
4.3.2 Blended Interaction als Designframework.....	79
4.4 Zusammenfassung und Implikation.....	88

5 Überwachung und Diagnose	91
5.1 Design Case I: Public Space.....	92
5.1.1 Motivation.....	93
5.1.2 Grundlagen – Navigations- und Visualisierungstechniken.....	94
5.1.3 Vorstudie zur Identifikation von Designanforderungen.....	107
5.1.4 Interaktionskonzept.....	119
5.1.5 Visualisierungskonzept.....	122
5.1.6 Interaktions- und Visualisierungskonzept der Manipulationsebene.....	126
5.1.7 Evaluation.....	128
5.1.8 Diskussion und Fazit.....	140
5.2 Design Case II: Private Space.....	143
5.2.1 Motivation.....	144
5.2.2 Grundlagen – Verbindung von Anzeigeflächen und Visualisierungen.....	145
5.2.3 Grundkonzept.....	149
5.2.4 Interaktionskonzept.....	151
5.2.5 Visualisierungskonzept.....	153
5.2.6 Evaluation.....	158
5.2.7 Diskussion und Fazit.....	166
6 Manipulation und Dokumentation	169
6.1 Design Case III: Manipulation.....	170
6.1.1 Motivation.....	171
6.1.2 Grundlagen – (Be)greifbare Benutzungsschnittstellen.....	173
6.1.3 Vorstudie zur Identifikation der Designanforderungen.....	178
6.1.4 Interaktions- und Visualisierungskonzept.....	179
6.1.5 Evaluation.....	185
6.1.6 Diskussion und Fazit.....	203
6.2 Design Case IV: Dokumentation.....	206
6.2.1 Motivation.....	207
6.2.2 Grundlagen – Verbindung von physischen und digitalen Dokumenten.....	208
6.2.3 Interaktions- und Visualisierungskonzept.....	211
6.2.4 Evaluation.....	214
6.2.5 Diskussion und Fazit.....	217
7 Zusammenfassung und Ausblick	219
7.1 Zusammenfassung.....	219
7.2 Reflexion – Domänenübergreifende Nutzungskontextanalyse.....	220
7.3 Reflexion – Blended Interaction als Gestaltungsansatz.....	224
7.3.1 Analyse.....	224
7.3.2 Design.....	226
7.3.3 Übertragbarkeit der Ergebnisse.....	231
7.4 Ausblick.....	234
Literatur	i
Anhang A – Kernaufgaben der Operatoren in den Domänen	xv

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Unterschiedliche Domänen zur Prozessüberwachung.....	3
Abbildung 2	Die Vision der holistischen Arbeitsumgebung.....	5
Abbildung 3	Überblick über die Kapitelinhalte.....	9
Abbildung 4	Überblick über das Mensch-Maschine-System.....	15
Abbildung 5	Modell der menschlichen Informationsverarbeitung.....	17
Abbildung 6	Vereinfachtes Modell von Kontroll- und Problemlösetätigkeiten.....	18
Abbildung 7	Gliederung menschlichen Verhaltens in drei kognitive Ebenen.....	19
Abbildung 8	Evolution der Interaktionsparadigmen in der Prozessführung.....	21
Abbildung 9	Direkte Bedienung der Maschine im Feld.....	22
Abbildung 10	Analoge Leitwarte mit Stellteilen und elektromagnetischen Anzeigen.....	23
Abbildung 11	Digitale Leitwarte mit Wanddisplay und Bildschirmen.....	25
Abbildung 12	Modell des Supervisory Control.....	27
Abbildung 13	Mentales Modell des tatsächlich wahrgenommenen Prozesses.....	28
Abbildung 14	Kompatibilitätsbeziehungen in der Prozessführung.....	29
Abbildung 15	Tätigkeiten und Handlungen eines Operators in der Prozessführung.....	37
Abbildung 16	Klassifikation der untersuchten Domänen.....	39
Abbildung 17	Die fünf Phasen der Cognitive Work Analysis.....	43
Abbildung 18	Ablauf der Untersuchung vor Ort.....	45
Abbildung 19	Arbeitsplatz eines Operators (Private Space).....	47
Abbildung 20	Anzahl der Geräte in der Arbeitsumgebung.....	48
Abbildung 21	Exemplarischer Ablauf der Primärtätigkeiten in der Verkehrsleitzentrale.....	50
Abbildung 22	Die Arbeitsumgebung in der Verkehrsleitzentrale.....	52
Abbildung 23	Modellierung der Kommunikationsabläufe und ein Kommunikationsartefakt.....	54
Abbildung 24	Bewertung der Interaktionstechnologien durch die Operatoren.....	55
Abbildung 25	Bewertung der Interaktionstechnologien durch Usability-Experten.....	57
Abbildung 26	Die vier Gestaltungsebenen der Reality-based Interaction.....	67
Abbildung 27	Darstellung der Dimensionen Power vs. Reality.....	68
Abbildung 28	Schematische Darstellung des Conceptual Blending.....	69
Abbildung 29	Die vier Dimensionen der Blended Interaction.....	71
Abbildung 30	(Be)greifbare Interaktion am Beispiel des THW.....	73
Abbildung 31	Benutzungsschnittstelle von eGrid und Smart Control Room.....	74
Abbildung 32	Derzeitige und zukünftige Arbeitsumgebung des Einsatzleitsystems der Polizei.....	75
Abbildung 33	Konzept mit gebogenem Display und Kommunikationspuck.....	75
Abbildung 34	Unterstützung der kollaborativen Wartungsarbeiten.....	76
Abbildung 35	Paradigmen der Prozessführung anhand der Tradeoffs Power vs. Reality.....	78
Abbildung 36	Die vier Hauptbestandteile des Designframeworks der Blended Interaction.....	79
Abbildung 37	Aufbau der Leitwarte mit Public Space und Private Space.....	80
Abbildung 38	Unterstützung der persönlichen Interaktion durch Interactive Tabletop.....	81
Abbildung 39	Unterstützung der persönlichen Interaktion mit Digital-Pen & Paper.....	82
Abbildung 40	Unterstützung bei der nonverbalen Kommunikation zwischen Operatoren.....	83
Abbildung 41	Unterstützung bei der Synchronisation von unterschiedlichen Displayebenen.....	84
Abbildung 42	Unterstützung bei der Bearbeitung von eingehenden Meldungen.....	85
Abbildung 43	Unterstützung der physischen Arbeitsumgebung.....	87
Abbildung 44	Unterstützung durch horizontale und vertikale Displayausrichtung.....	88
Abbildung 45	Überblick über die Interaktions- und Visualisierungskonzepte.....	89
Abbildung 46	Konzept für die Überwachung und Diagnose im Public Space.....	92
Abbildung 47	Content-Aware Scrolling-Technik.....	97

Abbildung 48	Link Sliding und Edge Bundling.....	97
Abbildung 49	Bring & Go-Technik.....	98
Abbildung 50	Semantisches Zooming und Space Scale-Diagramm.....	100
Abbildung 51	Overview+Detail-Visualisierung.....	101
Abbildung 52	Graphische Linsen DragMag und Magic Lens.....	102
Abbildung 53	Verzerrungsalgorithmen und Beispiel einer Fisheye-Linse.....	103
Abbildung 54	Mélange Space Folding-Technik.....	104
Abbildung 55	Overview+Detail- und Focus+Context-Visualisierung in der Leitwarte.....	105
Abbildung 56	Zooming zur Vergrößerung eines Teilprozesses in der Leitwarte.....	105
Abbildung 57	SpaceNavigator als Eingabegerät zur Steuerung des Wanddisplays.....	108
Abbildung 58	Polymodales Navigationselement in der freien Navigation.....	109
Abbildung 59	Polymodales Navigationselement in der inhaltsensitiven Navigation.....	110
Abbildung 60	Visualisierung der Prozessvariablen mit Split Screen-Darstellung.....	111
Abbildung 61	Hybride Magic Lens-View mit vier unterschiedlichen Zoomstufen.....	113
Abbildung 62	Bewertung der freien Navigation.....	115
Abbildung 63	Bewertung der inhaltsensitiven Navigation.....	116
Abbildung 64	Bewertung der Konzepte Straßenverlauf folgen und Kreuzung selektieren.....	116
Abbildung 65	Bewertung der Visualisierungskonzepte in den operatorspezifischen Aufgaben.....	117
Abbildung 66	Bewertung der Aufgabenerfüllung in den operatorspezifischen Aufgaben.....	117
Abbildung 67	Split Screen-Darstellung mit gebogenem Straßenverlauf.....	118
Abbildung 68	Überwachungs- und Diagnoseebene mit SpaceNavigator.....	119
Abbildung 69	Polymodales Navigationselement mit unterschiedlichen Zuständen.....	120
Abbildung 70	Konzept der TangibleContainer auf der Manipulationsebene.....	120
Abbildung 71	TangibleContainer mit unterschiedlichem Status auf der Manipulationsebene.....	121
Abbildung 72	Integration von Detailinformationen in den Kontext.....	122
Abbildung 73	Konzept der HML-View mit unterschiedlicher Zoomstufe.....	123
Abbildung 74	Folding-View auf der Überwachungs- und Diagnoseebene.....	124
Abbildung 75	Integration von Circles in der HML- und Folding-View.....	125
Abbildung 76	CircularMenu auf der Manipulationsebene.....	127
Abbildung 77	Meldungsliste auf der Manipulationsebene.....	127
Abbildung 78	Visualisierung der Manipulationsebene mit zwei Arbeitsbereichen.....	128
Abbildung 79	Versuchsaufbau im Labor und vor Ort in der Leitzentrale.....	129
Abbildung 80	Bewertung der Navigation mittels SpaceNavigators.....	132
Abbildung 81	Bewertung dem Straßenverlauf folgen und Selektion an Kreuzungen.....	133
Abbildung 82	Bewertung im Vergleich zur Maus und Nützlichkeit der Sprungfunktion.....	133
Abbildung 83	Bewertung der Touch-Interaktion und der körperlichen Anstrengung.....	133
Abbildung 84	Bewertung der Synchronisation der Arbeitsebenen.....	134
Abbildung 85	Auswertung des SUS-Scores.....	135
Abbildung 86	Bewertung des Überblicks im Informationsraum.....	135
Abbildung 87	Bewertung der Orientierung im Informationsraum.....	136
Abbildung 88	Auswertung des Overall Workload Score.....	136
Abbildung 89	Auswertung der einzelnen Subskalen des NASA-TLX.....	137
Abbildung 90	Konzept für die Überwachung und Diagnose im Private Space.....	143
Abbildung 91	Vertikal gebogenes Interactive Tabletop und Displayübergänge.....	146
Abbildung 92	Bird´s Eye-View und Augmented Windshield-Display.....	147
Abbildung 93	Darstellung von dreidimensionalen Diagrammen im Leitwartenkontext.....	148
Abbildung 94	Visualisierungskonzept für den Privat Space auf dem Curve.....	150
Abbildung 95	Visualisierung der Meldungsliste.....	152
Abbildung 96	Schematischer Querschnitt und reale Prozessvisualisierung auf dem Curve.....	153
Abbildung 97	Unterstützung der Orientierung mittels dreidimensionaler Domes.....	154
Abbildung 98	Head-Up-Display im Kurvenbereich.....	155
Abbildung 99	Globale Darstellung der Meldungen.....	156

Abbildung 100	Lokale Darstellung der Meldungen.....	156
Abbildung 101	Perspektivische Verzerrung in den Randbereichen des Displays	157
Abbildung 102	Versuchsaufbau mit Curve-Display im Labor	158
Abbildung 103	Darstellung der Kontrollbedingung (2D).....	159
Abbildung 104	Aufgezeichnete Interaktionswege bei einer Aufgabe.....	161
Abbildung 105	Vergleich der Bearbeitungszeit von allen Versuchspersonen (VP)	161
Abbildung 106	Bewertung der Bedienkonzepte	162
Abbildung 107	Bewertung der Kartenvisualisierung.....	162
Abbildung 108	Bewertung der Orientierung.....	162
Abbildung 109	Bewertung der Selektion einer Station	163
Abbildung 110	Bewertung der Navigation	163
Abbildung 111	Bewertung der Übersicht im Informationsraum	163
Abbildung 112	Bewertung der Mini-Kartendarstellung.....	164
Abbildung 113	Bewertung der dreidimensionalen Domes im Experimentalsystem	164
Abbildung 114	Bewertung der Touch-Interaktion auf den Displaysegmenten.....	165
Abbildung 115	Bewertung der Verbindung von horizontaler und vertikaler Arbeitsfläche.....	165
Abbildung 116	Konzept zur Manipulation von Prozessvariablen im Private Space	170
Abbildung 117	Eingabespektrum von Interactive Tabletops	173
Abbildung 118	Physikalisch-realistisches Verhalten von virtuellen Objekten	174
Abbildung 119	Ausprägungsformen der Tangible-Interaktion	175
Abbildung 120	Einsatz von Tangibles im Kontext der Leitwarte	176
Abbildung 121	Physisches Konzept des Drehreglers	180
Abbildung 122	Virtuelles Konzept des Drehreglers	182
Abbildung 123	Blend des Drehreglers.....	183
Abbildung 124	Physisches Konzept des Schiebereglers.....	184
Abbildung 125	Virtuelles Konzept des Schiebereglers	184
Abbildung 126	Blend des Schiebereglers	185
Abbildung 127	Versuchsaufbau für die Evaluation der Manipulationsebene.....	186
Abbildung 128	Prozessvisualisierung des Leittechniksystems „SPPA-T3000“	187
Abbildung 129	Exemplarische Darstellung eines Prozesses zur Energiegewinnung.....	187
Abbildung 130	Digitaler Prozessausschnitt mit Mini-Kartendarstellung.....	188
Abbildung 131	Wizard-of-Oz-Schablone und Kärtchen zur Abfrage der Werte.....	189
Abbildung 132	Poster des Fließbilds und Proband bei den Recallaufgaben.....	189
Abbildung 133	Übersicht über die Eingabemodalitäten und Stellteiltypen.....	190
Abbildung 134	Visualisierung kontextneutraler und kontextbezogener Aufgabenteil	191
Abbildung 135	Abläufe bei der Manipulation von Prozessvariablen	192
Abbildung 136	Vergleich der Einstelldauer in der kontextneutralen Evaluation	194
Abbildung 137	Auswertung des Overall Workload Score.....	197
Abbildung 138	Bewertung der Subskalen des NASA-TLX für den Drehregler.....	198
Abbildung 139	Bewertung der Subskalen des NASA-TLX für den Schieberegler	198
Abbildung 140	Bewertung der Maus- und Touchmodalität in Bezug auf die Elemente	200
Abbildung 141	Bewertung der Tangible- und Tastaturmodalität in Bezug auf die Elemente..	200
Abbildung 142	Auswertung des Overall Workload Score.....	202
Abbildung 143	Konzept für die Dokumentation im Private Space.....	206
Abbildung 144	Digital-Pen & Paper-Technologie.....	209
Abbildung 145	Erstellung eines Schichtbucheintrags mit hybrider Visualisierung.....	211
Abbildung 146	Ausschnitt aus dem Schichtbuch mit Funktionsbuttons	212
Abbildung 147	Filterung von Schichtbucheinträgen.....	212
Abbildung 148	Ausschnitt aus einem Kontrollgangprotokoll.....	213
Abbildung 149	Mobiler Versuchsaufbau für Dokumentationstätigkeiten.....	214
Abbildung 150	Prozessbild für die Untersuchung der Dokumentationstätigkeiten	215
Abbildung 151	Erweiterung der Vision des Holistic Workspace.....	234

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Überblick über das subjektivierende und objektivierende Arbeitshandeln.....	20
Tabelle 2	Gliederung der Fragestellungen und die eingesetzten Methoden.....	45
Tabelle 3	Zusammenfassung der Ergebnisse der Work Domain Analysis.....	46
Tabelle 4	Beispiele der Sekundär- und Tertiäraufgaben	49
Tabelle 5	Übersicht über die Kanten und Knoten in der Prozessvisualisierung	51
Tabelle 6	Zusammenfassung der Anforderungen	60
Tabelle 7	Übersicht über die vorgestellten Projekte im Leitwartenkontext	77
Tabelle 8	Vor- und Nachteile der Displayausrichtung.....	86
Tabelle 9	Unterstützung der Gestaltungsebenen in Design Case I	94
Tabelle 10	Bewertung der Multiscale-Anwendungen.....	106
Tabelle 11	ANOVA-Analyse der einzelnen Subskalen des NASA-TLX.....	138
Tabelle 12	Unterstützung der Gestaltungsebenen in Design Case II.....	145
Tabelle 13	Unterstützung der Gestaltungsebenen in Design Case III	172
Tabelle 14	Einstelldauer für die Eingabemodalitäten und Eingabelemente.....	195
Tabelle 15	Einprägsamkeit im zweiten Durchlauf für den kontextneutralen Teil.....	196
Tabelle 16	Überblick über die Beanspruchung der Elemente und Modalitäten	199
Tabelle 17	Einstelldauer für den kontextbezogenen Teil.....	201
Tabelle 18	Einprägsamkeit für den kontextbezogenen Teil.....	202
Tabelle 19	Unterstützung der Gestaltungsebenen in Design Case IV	208

1 Einführung

Inhalt

1.1 Motivation.....	3
1.2 Wissenschaftlicher Beitrag.....	4
1.2.1 Entwicklungen in der Forschung	5
1.2.2 Forschungsfragen.....	9
1.3 Aufbau der Arbeit.....	12

Leitwarten sind technische Einrichtungen, die die zentrale Überwachung und Steuerung komplexer Prozesse, z. B. in der Energieverteilung oder in der Verkehrsüberwachung, ermöglichen. Die technischen Prozesse werden weit entfernt vom realen Ort überwacht und gesteuert. Dabei werden die Daten durch Sensoren direkt in der Anlage oder im Feld erfasst, in die Leitwarte übermittelt, ausgewertet und virtuell in einer Prozessvisualisierung dargestellt. So werden die Prozesse von Operatoren in heutigen modernen Leitwarten nicht mehr wie am Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts direkt vor Ort überwacht, sondern zentral über unzählige Bildschirme.

In den letzten Jahrzehnten hat sich durch die voranschreitende Digitalisierung das Bild von Leitwarten stetig verändert und damit auch die Arbeit der Operatoren. Mit dieser Entwicklung geht eine steigende Automatisierung und Virtualisierung einher, die den Operator vor neue Herausforderungen stellt. Denn heute übernimmt die Automation und damit die Maschine den Großteil der Aufgaben des Operators (Wickens, Gordon & Liu, 2004). Inzwischen laufen häufig die komplexen Prozesse vollständig automatisiert ab. Dabei werden im Rahmen der Virtualisierung die beteiligten Elemente mit den entsprechenden Zustandsgrößen, die als Prozessvariablen bezeichnet werden, vermehrt in digitaler Form auf Bildschirmen dargestellt. Die Triebkraft für den stetigen Anstieg des Automatisierungs- und Virtualisierungsgrads besteht in der Erhöhung von Zuverlässigkeit und Effizienz der technischen Systeme bei gleichzeitiger Senkung der Prozesskosten (Endsley, 1996). Mit dieser Entwicklung einhergehend, hat sich im Vergleich zu früheren Prozessführungstätigkeiten der Verantwortungsbereich der Operatoren hin zu annähernd reinen Überwachungs- und Diagnoseaufgaben verlagert (Sheridan, 1996). Die Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine in der digitalen Leitwarte wird von Sheridan (1996) als *Supervisory Control* bezeichnet. Das überwachende Führen ist dadurch charakterisiert, dass der Operator den automatisierten Prozess auf der Verfahrens- und Zielsetzungsebene überwacht. Dieser greift nur in anormalen Betriebsituationen manuell in den Prozessablauf ein. Hierbei werden den Operatoren bei den Tätigkeiten im Leitwartenkontext sehr komplexe Aufmerksamkeits- und Wissensanforderungen abverlangt.

Die große Herausforderung für die fernab vom Geschehen arbeitenden Operatoren ist die Generierung eines mentalen Abbilds des realen Prozesses, um die Überwachung und Steuerung angemessen

sen ausführen zu können. Salo und Savioja (2006) berichten im Rahmen einer Studie von der Wichtigkeit des Prozessbezugs. Operatoren der analysierten Leitwarten haben angegeben, sich in regelmäßigen Abständen in die Anlagen des realen Prozesses zu begeben, um ihr Prozesswissen aufrechtzuerhalten. Denn die heutige Schnittstelle zwischen Operator und technischem Prozess ist lediglich die digitale Prozessvisualisierung auf den Bildschirmen. So zählen zu den Hauptaufgaben der Operatoren das frühzeitige Identifizieren von Abweichungen der Prozessziele und der damit verbundene Eingriff über die Benutzungsschnittstelle (Wittenberg, 2001). Hierbei ist das reibungslose Ineinandergreifen zwischen menschlichen und maschinellen Fähigkeiten Grundvoraussetzung, um eine effektive und effiziente Prozessführung zu erreichen und den ökonomischen Anforderungen gerecht zu werden.

Dabei muss bedacht werden, dass Leitwarten zur Überwachung und Steuerung von technischen Prozessen zu den sicherheitskritischen Mensch-Maschine-Systemen zählen (Herczeg, 2004). Aus diesem Grund liegen die Bestrebungen darin, den Anforderungen in der Leitwarte durch angemessen gestaltete Benutzungsschnittstellen gerecht zu werden. Denn werden die Operatoren hinsichtlich ihrer natürlichen Fähigkeiten bei der Prozessführung nicht angemessen unterstützt, können im Extremfall sogar Menschenleben in Gefahr geraten. Die nicht auf den Menschen abgestimmte Gestaltung der Benutzungsschnittstelle führt zu Fehlbedienungen. In Produktionsprozessen treten 70% bis 90% aller Unfälle aufgrund menschlichen Versagens auf (Künzler, 2002). Menschliches Versagen liegt meist nicht an einer situativ unangemessenen Bedienhandlung des Operators, die stark von der Gestaltung der Arbeitsumgebung abhängig ist, sondern an einer unzureichenden Gestaltung des Interaktions- und Visualisierungskonzepts. Das menschliche Fehlverhalten hat seine primären Ursachen meist darin, dass der Operator mit seinen angeborenen Fähigkeiten beim Entwurf der Benutzungsschnittstelle nicht hinreichend berücksichtigt worden ist (Wittenberg, 2001). Ist dies der Fall, so erhöht sich die Wahrscheinlichkeit von Fehlern bei der Bedienhandlung (Grams, 1998). Hierbei gilt es, auch den menschlichen Faktor im Hinblick auf den demografischen Wandel zu betrachten, denn die Zahl von älteren Operatoren steigt an. Prozessvisualisierungen und Interaktionstechniken müssen im Leitwartenkontext so gestaltet werden, dass sie der menschlichen Wahrnehmung und Informationsaufnahme gerecht werden (Wittenberg, 2001). Darüber hinaus müssen die mentalen Modelle von Operatoren entsprechende Beachtung finden (Rasmussen, Pejtersen & Goodstein, 1994). Somit hängt eine effiziente Überwachung und Steuerung von komplexen technischen Prozessen von intuitiv gestalteten Benutzungsschnittstellen ab, die eine angemessene Verbindung zwischen Mensch und Maschine schaffen.

Teile dieses Kapitels sind bereits veröffentlicht worden in:

Schwarz, Tobias; Butscher, Simon; Müller, Jens; Reiterer, Harald: Blended Interaction – Neue Wege zur Vermischung realer und digitaler Interaktionskonzepte im Kontext von Leitwarten. In at – Automatisierungstechnik (Multimodale Interaktion), Oldenbourg Verlag, S. 749-759, November 2013.

Schwarz, Tobias; Müller, Jens; Butscher, Simon; Reiterer, Harald: Die Wiederentdeckung analoger Interaktionsqualitäten in der digitalen Leitwarte. In i-com, Oldenbourg Verlag, S. 25-33, November 2013.

Schwarz, Tobias; Heilig, Mathias; Butscher, Simon; Müller, Jens; Reiterer, Harald: Die Gestaltung der Arbeitsumgebung von Operatoren (k-) ein Platz für Innovationen? In AUTOMATION 2011 (VDI-Berichte 2143), Baden-Baden (Deutschland), VDI Verlag, Juni 2011.

Schwarz, Tobias; Kehr, Flavius; Oortmann, Holger; Reiterer, Harald: Die Leitwarte von heute verstehen – die Leitwarte von morgen gestalten! In Mensch & Computer 2010: Interaktive Kulturen, Duisburg (Deutschland), Oldenbourg Verlag, S. 93-102, September 2010.

1.1 Motivation

Einhergehend mit der Steigerung der Digitalisierung, haben sich zum einen die Automatisierung und zum anderen die Virtualisierung erhöht. So übernimmt die Maschine die zuvor vom Operator ausgeführten Aufgaben in Form der Steuerung von (Teil)Prozessen, was einen Verlust der manuellen Fertigkeiten in der Prozessführung zur Folge hat (Wickens et al., 2004). Gleichzeitig ist die Anzahl von Operatoren während der Digitalisierung und Zentralisierung der Prozesse reduziert worden. Dadurch steigen der Verantwortungsbereich und somit der Informationsgrad für den Operator (Komischke, 2003; Zühlke, 2002). Im Zuge dieser Entwicklung sind die Anforderungen an Operatoren gestiegen, was sich darin äußert, dass diese einer ansteigenden Komplexität der Mensch-Maschine-Schnittstelle ausgesetzt sind. Abbildung 1a-b zeigt die komplexe Arbeitsumgebung der Operatoren in unterschiedlichen Leitwarten.

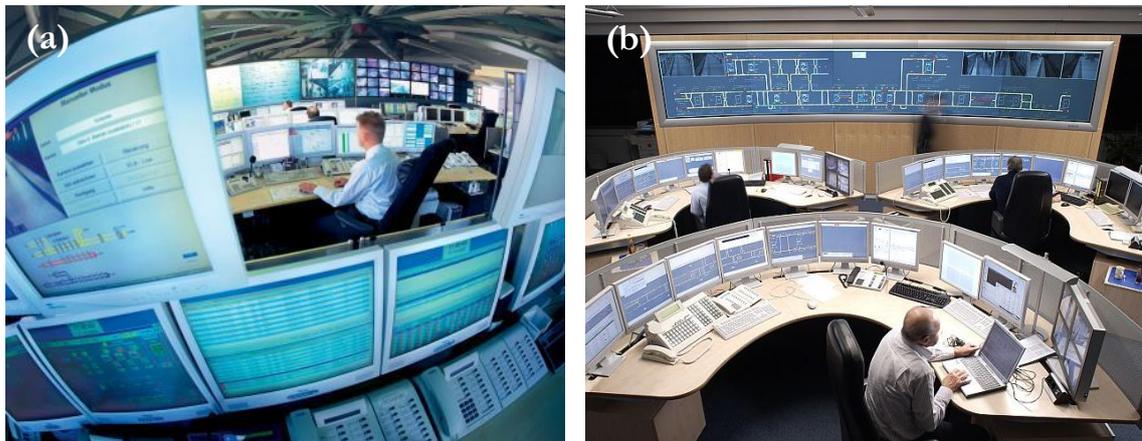


Abbildung 1 Unterschiedliche Domänen zur Prozessüberwachung

(a) In der Verkehrsleitzentrale wird das Prozessgeschehen mit unzähligen Bildschirmen überwacht.¹ **(b)** Dieses Bild zeigt eine Arbeitsumgebung einer Leitzentrale der U-Bahn, die mit drei Operatoren besetzt ist.²

Zudem wird es den Operatoren durch die steigende Automatisierung und Virtualisierung erschwert, ein ganzheitliches mentales Modell der zu überwachenden Prozesse abzuleiten. Das Generieren eines mentalen Modells ist aber bedeutungsvoll für die Überwachung des momentanen Systemstatus, insbesondere beim Diagnostizieren von Veränderungen in der Prozessdynamik (Wickens & Hollands, 2000). Um die Prozessführung sicher und effizient zu gestalten, ist das Zusammenspiel menschlicher und technologischer Fähigkeiten essenziell.

Die Überwachung und Steuerung von komplexen Prozessen bedarf einer hohen kognitiven Beanspruchung der Operatoren (Wickens & Hollands, 2000). Durch langes Beobachten nimmt die *Vigilanz* ab. Dabei handelt es sich um die Daueraufmerksamkeit, die bei einer hohen Anzahl von Arbeitstätigkeiten notwendig ist. Die Wachsamkeit von Operatoren nimmt in monotonen Überwachungsaufgaben, die teilweise mit selten auftretenden Ereignissen verbunden sind, in relativ kurzer Zeit deutlich ab (Johannsen, 1993). Demzufolge sinkt die Wahrscheinlichkeit, Meldungen zu erkennen, die auf eine Systemstörung hindeuten (Johannsen, 1993). So kommt es bei monotonen Überwachungstätigkeiten beim Operator schon nach ca. 30 Minuten zu Aufmerksamkeitsdefiziten (Sheridan, 2002).

¹ Pressebild: Siemens AG. (2006) Referenznummer: sosep200615-09, zuletzt aufgerufen am 14.02.2014.

² Pressebild: Siemens AG. (2008) Referenznummer: sots200801-08, zuletzt aufgerufen am 14.02.2014.

Aufgrund der Automatisierung leidet der Operator unter einem starken Wechsel von monotonen bis hin zu sehr stark beanspruchenden Tätigkeiten, wenn anormale Betriebszustände auftreten. Durch die Automatisierung und die damit verbundene Abstraktion des technischen Prozesses büßt der Operator den Kontakt zum Prozess ein und verliert das Verständnis für die Systemzusammenhänge. So können nach Wittenberg (2001) die relevanten Eigenschaften zur Erreichung der Produktionsziele durch die Technologisierung nicht unmittelbar beobachtet werden, sondern der Operator muss vielmehr aus der Fülle an abstrakten Informationen eventuelle Abweichungen ableiten. Das direkte Fühlen des Prozesszustands ist über die Jahre hinweg verloren gegangen. Als einziger Zugang zum Prozess bleiben dem Operator die Prozessvisualisierungen und die Interaktionstechniken, mit denen die technischen Prozesse gesteuert werden.

Während durch die Digitalisierung die Arbeitsumgebung des Operators immer komplexer geworden ist, stagnieren die Gestaltung der Benutzungsschnittstelle und deren Ein- und Ausgabegeräte wie bisher in der Tradition des Desktop-Computers. Der Operator muss sich auf Basis von Maus, Tastatur und unzähligen Bildschirmen ein Bild vom Prozesszustand ableiten, um gegebenenfalls einen manuellen Prozesseingriff korrekt ausführen zu können. Der Mensch nimmt jedoch gewöhnlich seine unmittelbare Umgebung über zahlreiche Sinne wahr und leitet sich daraus ein holistisches Bild ab (Wickens et al., 2004).

Die Betrachtung der analogen Paradigmen der früheren Prozessführung verdeutlicht, dass physische Steuerelemente wie Drehregler und Kippschalter hinsichtlich der ganzheitlichen Sinneswahrnehmung Vorteile aufweisen, die im Zuge der Virtualisierung verloren gegangen sind. Die sensorische Rückmeldung durch das Fühlen und Greifen bleibt dem Operator in der heutigen Prozessführung verwehrt (Wittenberg, 2001; Martin, 1995). Hingegen der Einzug fortschrittlicher Computertechnologie hat in der Prozessvisualisierung auch große Vorteile mit sich gebracht. So können heutige Technologien dem Operator beispielsweise komplexe Prozesszusammenhänge vermitteln.

Eine nutzerzentrierte Arbeitsumgebung muss die Distanz zwischen dem Operator und dem technischen Prozess verringern (Wittenberg, 2001). Hierfür müssen dem Operator Werkzeuge zur Verfügung gestellt werden, die es ihm erlauben, Prozesse zu überwachen und Abweichungen von Prozesszielen in frühen Phasen zu erkennen, um gezielt und schnellstmöglich einzugreifen zu können. Im Hinblick auf zukünftige Szenarien begründet dies das grundsätzliche Bedürfnis nach angemessenen Interaktions- und Visualisierungskonzepten für Leitwarten.

1.2 Wissenschaftlicher Beitrag

Im Hinblick auf noch komplexere Leitwartenszenarien der Zukunft muss die Arbeitsumgebung für Operatoren an diese Veränderungen angepasst werden. Besonders die Entwicklung von angemessenen Interaktions- und Visualisierungskonzepten ist hierbei entscheidend. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Gestaltung einer holistischen Arbeitsumgebung unter Beachtung realitätsbasierter Ansätze aus der Mensch-Computer-Interaktion (MCI) zu verwirklichen, um den Operator bei seinen Tätigkeiten zu unterstützen.

Im Gegensatz zu heutigen Konzepten im Leitwartenszenario, die meist nur von statischen und isolierten Nutzern in der Arbeitsumgebung ausgehen, wird der Operator dabei in seinem Kontext, seinem sozialen Umfeld samt seiner physischen und kognitiven Fähigkeiten berücksichtigt. Dazu muss eine ganzheitliche Arbeitsumgebung geschaffen werden, die die Entwicklung und den Einsatz sowohl von Technik als auch Qualifikation und Vorkenntnissen der Operatoren einbezieht. Abbildung 2 zeigt ein zukünftiges Leitwartenszenario, das im Rahmen der Arbeit verfolgt wird.



Abbildung 2 Die Vision der holistischen Arbeitsumgebung

Den Operatoren stehen in der Leitwarte aufgabenspezifische Interaktions- und Visualisierungskonzepte zur Verfügung (Schwarz, Oortmann & Reiterer, 2010).

Der wissenschaftliche Beitrag dieser Arbeit, der im Folgenden durch die Forschungsansätze und -fragen erläutert wird, besteht sowohl aus der Ausarbeitung von neuen ganzheitlichen Ansätzen in Bezug auf Interaktionsformen und Visualisierungen als auch der Gestaltung der physischen Arbeitsumgebung im Kontext der Leitwarte.

1.2.1 Entwicklungen in der Forschung

Das zentrale Bild in Leitwarten stellt noch immer die graphische Benutzeroberfläche (GUI) dar, die in den Anfängen der 80er Jahre des letzten Jahrhunderts entwickelt worden ist. Prozesseingriffe finden zentralisiert statt, und Prozesse werden anhand ihrer zugrundeliegenden Prozessgrößen vom Operator überwacht. Als Interaktionsgeräte werden vorherrschend wie bei herkömmlichen Desktop-Systemen Maus und Tastatur eingesetzt.

Aufgrund neuer Erkenntnisse der Kognitionspsychologie wird das in Leitwarten dominierende Interaktionsparadigma kritisch hinterfragt. Die Kognitionspsychologie beschäftigt sich in den letzten Jahren nicht mehr nur mit den unsichtbaren kognitiven Vorgängen im Gehirn, sondern auch mit der Bedeutung der Interaktion mit der Umwelt. Diese Sichtweise, als *Embodied Cognition* (Dourish, 2001) bezeichnet, ist für die geistige Entwicklung und das Alltagsverhalten des Menschen wesentlich. Die körperliche und soziale Interaktion mit Objekten der Umwelt fördert die kognitive Entwicklung eines Menschen entscheidend. Diese Erkenntnis führt für die MCI zu folgenden zwei Konsequenzen: unterstütze die Interaktion mit dem Computer und beziehe die soziale Umwelt in die Betrachtung ein. Im Folgenden werden weitere Entwicklungen erläutert.

Von der eigenständigen Betrachtung von Arbeitsumgebungen in Leitwarten zur Nutzung von Synergien durch eine domänenübergreifende Analyse

Die Operatoren als Beobachter und Führer der Prozesse müssen mit einem stetig steigenden Grad an Komplexität umgehen. Dieser Trend stellt eine essenzielle Herausforderung für die Gestaltung von Benutzungsschnittstellen dar. Bisherige Forschungsarbeiten, die die Arbeitsumgebung von Operatoren untersucht haben, beschränken sich meist auf einen bestimmten Industriezweig.

Dabei kann gerade der gegenseitige Vergleich über unterschiedliche Domänen (Energieverteilung, Verkehrsüberwachung, Einsatzleitsysteme usw.) hinweg dazu beitragen, ein tiefergehendes Verständnis für die Anforderungen und Aufgaben von Operatoren zu gewinnen.

Aus diesem Grund werden im Rahmen dieser Arbeit Nutzungskontextanalysen in unterschiedlichen Domänen durchgeführt. Dadurch können Gemeinsamkeiten und Synergien in Bezug auf ergonomische, gestalterische und tätigkeitsbezogene Merkmale identifiziert werden. Die umfassende Analyse der Anforderungen im Leitwartenkontext dient dem Erfahrungsaustausch und der Nutzung von Synergien.

Basierend auf der umfassenden Nutzungskontextanalyse, soll unter Berücksichtigung von neuen Technologien und Ansätzen der MCI ein generisches Konzept für die Arbeitsumgebung des Operators als *Holistic Workspace* entwickelt werden.

Von der Maschinenbedienung per Hand hin zur rechnerbasierten (Fern)Steuerung

Durch die voranschreitende Digitalisierung sind in den letzten Jahrzehnten unterschiedliche Paradigmen der Prozessführung entwickelt worden, die sich durch unterschiedliche Bedienhandlungen voneinander abheben. Obwohl sich die Rolle im Zuge der Digitalisierung und damit der Verantwortungsbereich des Operators von der umfänglichen Prozesssteuerung hin zur Überwachung des Prozesses entwickelt hat (Sheridan, 1996), stellen manuelle Eingriffe einen bedeutenden Arbeitsschritt in der heutigen Zeit dar. Zwar sind die Eingriffe in das Prozessgeschehen verringert worden (Komischke, 2003), gleichzeitig ist jedoch die Komplexität von Prozessen gestiegen (Wittenberg, 2001).

In der Entwicklung der Leitwarten lassen sich verschiedene Paradigmen bestimmen, die sich anhand der beiden prägenden Merkmale *technische Verarbeitungskapazität* und *physische Interaktionsqualität* manifestieren lassen. Diese Eigenschaften lassen sich den von Jacob et al. (2007) beschriebenen konträren Dimensionen *Power* vs. *Reality* zuordnen. Effektiver ist die Prozessführung anfänglich durch die Zentralisierung und später durch die Digitalisierung geworden. Durch dieses Phänomen ist stetig der wahrnehmbare Prozessbezug für den Operator verloren gegangen. So hat die Interaktion über die digitale Benutzungsschnittstelle (GUI) – das Desktop-System – zu einem ebenso drastischen Rückgang der physischen Qualitäten geführt. Sensorische Erfahrungen, aus denen der einstmalige Operator entsprechende Rückschlüsse auf den Zustand und die Dynamik des realen Prozesses erlangen konnte, bleiben aus (Rasmussen et al., 1994). Die für einen direkten Prozessbezug entscheidenden sensorischen und motorischen Erfahrungen des Operators werden durch die Bedienung per Maus und Tastatur nicht mehr unterstützt.

Ein darüber hinaus verlorengegangener Vorteil früherer Leitwartengenerationen besteht in einer gleichberechtigten Form der sozialen Interaktion. Früher konnten mehrere Operatoren – beispielsweise bei kritischen Betriebszuständen – gleichzeitig mit den analogen Eingabeelementen direkt interagieren, wodurch soziale Konventionen wie die Abstimmung in kritischen Situationen unmittelbar eingebracht werden konnten. Die technologische Weiterentwicklung birgt den Vorteil, dass immer mehr sensorische Zustände der Prozessgrößen erfasst werden können und diese mittels moderner Computertechnologie in hochauflösenden Bildschirmvisualisierungen dargestellt werden.

Folglich bedürfen neue Interaktionskonzepte einer effizienten Kombination aus den physischen Eigenschaften der traditionellen Arbeitsumgebung und den Potenzialen der digitalen Welt. Die vorliegende Arbeit zeigt einen Paradigmenwechsel auf, der nicht ausschließlich die rein virtuellen Welten berücksichtigt.

Von der grafischen Benutzungsoberfläche (GUI) zu neuen Interaktionsparadigmen

Die technischen Prozesse werden anhand des Interaktionsparadigmas der Windows Icons Menus and Pointers (WIMP) von der Leitwarte aus gesteuert. In der Literatur finden sich zahlreiche Beiträge, die die Ablösung des vorherrschenden Interaktionsparadigmas beschreiben:

“*Computer interfaces that support more natural human forms of communication (e.g. handwriting, speech, and gestures) are beginning to supplement or replace elements of the GUI interaction paradigm.*” (Abowd & Mynatt, 2000, S. 2)

Im Artikel “*Back to the real world*” von Wellner, Mackay und Gold (1993) beschreiben die Autoren, dass sich die Interaktion mit GUIs immer mehr von der natürlichen Umgebung entfremden würde, denn es müsse eine aufwendige Übersetzung von digitaler und realer Welt stattfinden. Anstatt also eine virtuelle künstliche Welt aufzubauen, müsse die physische Welt um digitale Informationen angereichert werden. Den Erkenntnissen aus der *Embodied Interaction* (Dourish, 2001) folgend, muss der Mensch bei der Gestaltung von interaktiven Systemen mit seinen physischen und kognitiven Fähigkeiten sowie seinem sozialen Umfeld betrachtet werden. Neue Interaktionsformen wie *Natural User Interfaces* (NUIs) (Wigdor & Wixon, 2011), *Tangible User Interfaces* (TUIs) (Ishii & Ullmer, 1997) und *Augmented Reality* (AR) (Feiner, Macintyre & Seligmann, 1993) nehmen Bezug auf Interaktionsparadigmen jenseits der Tradition des Desktop-Computers.

Der Ansatz der *Blended Interaction* (Jetter, Geyer, Schwarz & Reiterer, 2012; Jetter, Reiterer & Geyer, 2013) stellt ein allumfassendes Interaktionsparadigma dar, das die Vermischung von realen und digitalen Konzepten postuliert. Essenziell für die Gestaltung von natürlichen Benutzungsschnittstellen in interaktiven Räumen (*Interactive Spaces*) ist die holistische Betrachtungsweise, die sich auf vier Bereiche erstreckt: die *persönliche Interaktion*, die *soziale Interaktion* und *Kommunikation*, *computergestützte Arbeitsabläufe* (*Workflows*) sowie die *physische Arbeitsumgebung*. *Blended Interaction* hat die Zielsetzung, die Interaktion an den Prinzipien der *Reality-based Interaction* (Jacob et al., 2007, 2008) und dem *Conceptual Blending* (Fauconnier & Turner, 2002; Imaz & Benyon, 2007) zu orientieren. Dabei findet die Interaktion auf verschiedenen Endgeräten im Sinne der Vision des *Ubiquitous Computing* (Weiser, 1993) statt.

Die vorliegende Arbeit empfiehlt ein neues Interaktionsparadigma jenseits des Desktop-Computers, das die Fähigkeiten des Operators im Sinne einer nutzerzentrierten Gestaltung berücksichtigt.

Vom vertikalen Display zu Interactive Surfaces und Spaces

Die Arbeitsumgebung eines Operators in der Leitwarte besteht in der heutigen Zeit aus einem klassischen Bürotisch, auf dem sich die Eingabegeräte, z. B. sowohl Mäuse und Tastaturen als auch vertikal ausgerichtete Bildschirme, befinden. Dieser Bereich wird im Folgenden als *Private Space* bezeichnet. Der Aufbau ähnelt einem klassischen Desktop-Computer-Arbeitsplatz in einem Büro. Zusätzlich wird die Anzeigefläche durch vertikale Wanddisplays erweitert, die es ermöglichen, eine Übersicht des Prozesses zu visualisieren. Das wird als *Public Space* bezeichnet. Neben den digitalen vertikalen Anzeigen fungiert der Tisch lediglich als Armauflage, Ablage für Dokumente oder dient dem Erstellen von handschriftlichen Artefakten wie Notizen oder Protokollen. Somit gibt es eine klare Trennung der Arbeitsebenen. Die vertikale Fläche besteht aus digitalen Artefakten, während auf der horizontalen Fläche physische Objekte abgelegt werden. Bereits in den Anfängen der neunziger Jahre hat Weiser (1993, 1995) innerhalb der Visionen des *Ubiquitous Computing* Konzepte mit unterschiedlichen Arten von Displays entwickelt, die je nach Einsatzzweck angepasst worden sind. Diese Entwicklung ist im Projekt *iLand* (Streitz, Geißler & Holmer, 1998, 1999) weiterverfolgt worden, indem konkrete Büroszenarien ausgearbeitet worden sind. Je nach Aufgabentypus sind die interaktiven Displays entweder vertikal oder horizontal ausgerichtet worden, um dadurch die jeweiligen Vorteile sowohl funktional als auch ergonomisch zu nutzen. So ist je nach Tätigkeit eine bestimmte Displayorientierung zweckmäßig. In den Projekten *Curve* (Wimmer & Schulz, 2009;

Wimmer et al., 2010) und *BendDesk* (Weiss, Voelker, Sutter & Borchers, 2010) sind eine horizontale und eine vertikale Displayfläche nahtlos kombiniert worden, um für den Nutzer eine mentale, visuelle sowie haptische Kontinuität zu schaffen.

Werden die unterschiedlichen Tätigkeiten von Operatoren betrachtet, so zeigt sich, dass vertikal gebogene Displays die Arbeit unterstützen können. Für den Leitwartenkontext bedeutet das, dass dem Operator je nach Aufgabentypus jeweils eine passende Displayorientierung zur Verfügung gestellt werden kann. Um einen Wechsel zwischen Displayebenen effizient zu gestalten, ist dabei eine möglichst nahtlose Verbindung der Arbeitsebenen maßgeblich. Gerade bei langen Überwachungstätigkeiten auf dem vertikalen *Public Display* ist die Nackenmuskulatur relativ entspannt. Bei manuellen Eingriffen in den Prozess muss der Operator mit der Maus und Tastatur interagieren (*Private Space*). Dabei muss kurzzeitig der Fokus von der zu manipulierenden Prozessvariablen genommen oder sogar ein Wechsel der Eingabegeräte vollzogen werden. Eine direkte Interaktion auf dem vertikalen Display hätte hierbei den Vorteil, dass die Eingabe ohne Unterbrechung erfolgen kann und gleichzeitig mehrere Finger oder gar zusätzliche Personen in die Interaktion einbezogen werden können. Auf Dauer kann es jedoch nach Morris, Brush und Meyers (2007, 2008) zur Ermüdung des Arms und des Schulterbereichs kommen. Hierbei gilt es zu beachten, dass aufgrund der Verschiebung des Verantwortungsbereichs des Operators die Manipulation von Prozessvariablen einen relativ geringen Anteil an den Tätigkeiten hat. Somit bieten die horizontale und vertikale Displayorientierung je nach Arbeitsschritt innerhalb einer Aufgabe entsprechende Vorteile. Bei der Betrachtung der Tätigkeiten ist die Prozessüberwachung eine eher passive beobachtende Maßnahme und die Manipulation von Prozessvariablen eine wesentlich aktivere Handlung.

In dieser Arbeit wird ein Interaktions- und Visualisierungskonzept für den *Private Space* gestaltet, das die Übersichts- und Detailinformationen nahtlos zwischen horizontaler und vertikaler Anzeigefläche zusammenführt.

Von der getrennten Darstellung zur integrierten Details-on-Demand-Lösung

Der technische Prozess wird mit Hilfe von virtuellen Visualisierungen, die die Zusammenhänge wie den Stoff-, Energie- und Informationstransport darstellen, auf unterschiedlichen Displays abgebildet. Dabei wird der Zustand des Prozesses durch unzählige Prozessvariablen visualisiert. Die Prozessvariablen gliedern sich dabei sowohl in die vom Operator direkt manipulierbaren Werte als auch in aktuelle Messwerte der Sensoren, auf die der Operator keinen direkten Einfluss hat.

Das Bild der heutigen Leitwarten ist durch die großen Wanddisplays (*Public Space*) für die Darstellung der Prozessübersicht sowie mehrere kleinere Displays direkt an den Arbeitsplätzen (*Private Space*) für die Darstellung von Detailansichten geprägt. Durch das vorherrschende Overview+Detail-Entwurfsmuster werden verschiedene Ansichten von Prozessinformationen auf getrennte Displays verteilt. Das ist notwendig, um die Komplexität der Prozesse, d. h. die Größe, die Struktur und auch die unzähligen Prozessvariablen erfassbar zu machen, da nicht alle für den Operator wichtigen Informationen auf einem einzelnen Display darstellbar sind. Das Entwurfsmuster birgt jedoch Nachteile, da eine räumliche Trennung der unterschiedlichen, voneinander abhängigen Informationen stattfindet (Baudisch, Good & Stewart, 2001). Folglich ist ein ständiger Blickwechsel des Operators zwischen den verschiedenen Displayebenen (*Public vs. Private*) notwendig. Bei sicherheitskritischen Systemen, z. B. im Kontext der Prozessüberwachung, sollte dieser Faktor der erhöhten mentalen Beanspruchung minimiert werden. Einer Studie von Klump, Schooley und Overbye (2002) zufolge ist es für Operatoren enorm schwierig, große Mengen an Informationen auf entfernten Displays wahrzunehmen. Insbesondere bei kritischen Situationen kann die große Masse der meist ungefilterten Informationen zu einer kognitiven Überbeanspruchung führen (Sachs, Paterson & Turner, 1986). Die große Flut an Informationen (*Information Overload*) kann der Operator mit seinen Ressourcen nicht mehr vollständig verarbeiten (Turetken & Sharda, 2004). Folglich birgt das

die Gefahr, dass Operatoren sicherheitskritische Informationen übersehen. In diesem Zusammenhang sprechen Beaudoin, Parent und Vroomen (1996) von dem sog. Tunnelblick, wobei es zum Verlust der peripheren Informationen kommt. Dies kann eine schwerwiegende Orientierungslosigkeit zur Folge haben. Um dem Effekt der Überbeanspruchung entgegenzuwirken, sollten nur im Bedarfsfall zusätzliche Informationen visualisiert werden (*Details-on-Demand*).

In der vorliegenden Arbeit wird dem Übersichts-Detail-Paradoxon entgegengewirkt. Dies geschieht durch die kontextspezifische Integration von Detailinformationen (Prozessvariablen). Somit können die negativen Folgen der geteilten Aufmerksamkeit reduziert werden. Dabei wird bei der Gestaltung der Interaktions- und Visualisierungskonzepte berücksichtigt, dass meist mehrere Operatoren gleichzeitig auf die Prozessvisualisierung im *Public Space* zugreifen.

1.2.2 Forschungsfragen

Der Forschungskontext dieser Arbeit begründet sich in einer neuartigen Methodik zur nutzerzentrierten Gestaltung einer holistischen Arbeitsumgebung für den Operator in der Leitwarte. Dabei wird sowohl von neuen Interaktions- und Visualisierungskonzepten als auch empirischen Daten über die praktische Anwendung dieser Konzepte berichtet. Insbesondere gilt es, menschliche Fähigkeiten in Bezug zur Interaktion mit sowohl realen als auch digitalen Objekten zu stellen. Abbildung 3 zeigt das strukturelle Vorgehen in der vorliegenden Arbeit.

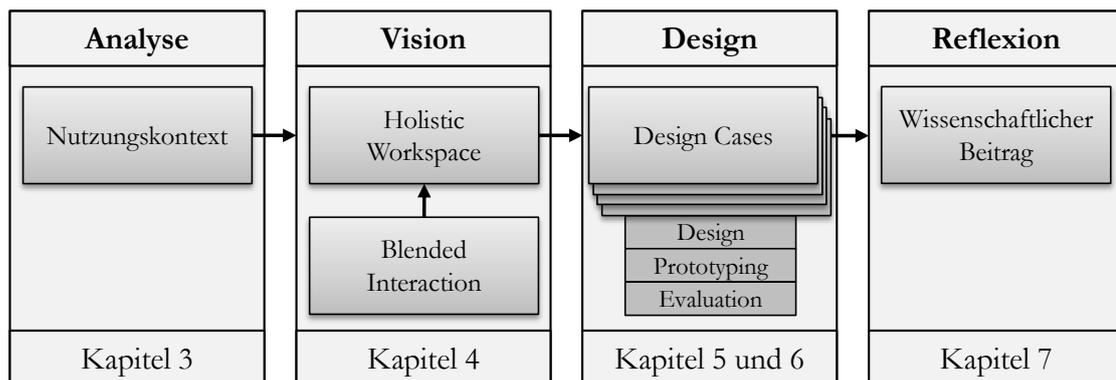


Abbildung 3 Überblick über die Kapitelinhalte

Dabei wird in den vier Phasen *Analyse*, *Vision*, *Design* und *Reflexion* jeweils eine Forschungsfrage aufgestellt, die abschließend in Kapitel 7 beantwortet werden.

Analyse – die Arbeitsumgebung in Leitwarten von heute begreifen (Kapitel 3)

Ausgangspunkt der Arbeit ist eine domänenübergreifende Nutzungskontextanalyse, die beispielsweise in der Energieerzeugung, -verteilung und auch der Einsatzplanung von Betriebsmitteln der Feuerwehr in den Leitwarten vor Ort erarbeitet worden ist. Die Erhebung ist mit Hilfe teilnehmender Beobachtungen und teilstrukturierter Interviews erstellt worden. Ziel der Analyse in sicherheitskritischen Systemen ist es, Verständnis für die Aufgaben und Tätigkeiten sowie für die soziale und physische Arbeitsumgebung von Operatoren zu entwickeln.

Hierbei soll folgende Forschungsfrage (*F1*) beantwortet werden:

Lassen sich aus den Beobachtungen domänenübergreifende Aufgaben und Arbeitsabläufe ableiten und gegebenenfalls entsprechende Optimierungspotenziale identifizieren?

In der ersten Phase der vorliegenden Arbeit ist zum einen untersucht worden, wie die Operatoren in ihrer derzeitigen Arbeitsumgebung bei der Erfüllung von Primärtätigkeiten unterstützt werden. Zum anderen sind domänenübergreifende Aufgaben und Arbeitsabläufe analysiert worden, um

mögliche allgemeingültige Erkenntnisse über die Domänen hinweg ableiten zu können. Zudem sind eventuelle Optimierungspotenziale mit den Experten diskutiert worden. Somit ist das Ergebnis der Nutzungskontextanalyse eine Beschreibung der echten Nutzungsbedingungen am realen Arbeitsplatz mit typischen Tätigkeiten und Arbeitsschritten sowie kontextspezifischen Schwierigkeiten (Schwarz, Butscher, Müller & Reiterer, 2012b; Schwarz, Kehr, Oortmann & Reiterer, 2010; Schwarz, Kehr, Hermes & Reiterer, 2010; Schwarz, Oortmann & Reiterer, 2010).

Vision – Die Arbeitsumgebung in Leitwarten von morgen gestalten (Kapitel 4)

Im Hinblick auf zukünftige Anforderungen der immer komplexeren Szenarien besteht ein grundsätzlicher Bedarf an angemessenen Interaktions- und Visualisierungskonzepten für die Arbeitsumgebung von Operatoren. Leitbild in der Konzeptentwicklung ist eine Arbeitsumgebung, die den Operator unter Berücksichtigung seiner natürlichen Fähigkeiten in der Ausübung der Tätigkeiten bestmöglich unterstützt. Insofern ist es essenziell, einen aufeinander abgestimmten Operatorarbeitsplatz zu entwickeln, der die technische Infrastruktur (Benutzungsoberfläche, Eingabe-, Ausgabe- und Kommunikationsgeräte), die Arbeitsabläufe (Workflows) sowie die physische Arbeitsumgebung berücksichtigt. Um den Anforderungen im Kontext von sicherheitskritischen Mensch-Maschine-Systemen gerecht zu werden, müssen wohlbedachte Interaktionskonzepte und Prozessvisualisierungen gestaltet werden, die die Informationsaufnahme und -verarbeitung des Menschen unterstützen. In der Vision des *Holistic Workspace* werden mit Hilfe des konzeptionellen Designframeworks *Blended Interaction* realitätsbasierte Konzepte entwickelt, die die menschlichen Fähigkeiten und das Vorwissen berücksichtigen.

Folgende Forschungsfrage (F2) soll beantwortet werden:

Wie lassen sich erlernte und evolutionsbedingte Interaktionsformen des Menschen mit den Potenzialen der digitalen Welt sinnvoll kombinieren und in der Leitwarte anwenden?

Ein Ansatz zur Gestaltung zukünftiger Arbeitsumgebungen in Leitwarten basiert darauf, dass die Interaktion von Mensch und Maschine an der realen Welt ausgerichtet wird. Damit können erlernte und evolutionsbedingte Charakteristika des Operators genutzt werden, um die Mensch-Maschine-Schnittstelle begreifbarer zu gestalten (Schwarz, Butscher, Müller & Reiterer, 2013; Schwarz, Müller, Butscher & Reiterer, 2013; Schwarz, Müller, Butscher & Reiterer, 2012; Schwarz, Heilig, Butscher, Müller & Reiterer, 2011; Schwarz, Kehr, Oortmann & Reiterer, 2010).

Design – Die Gestaltung der Interaktions- und Visualisierungskonzepte von morgen (Kapitel 5 und 6)

Die neuen Interaktionsformen und Visualisierungskonzepte in Verbindung mit den konzeptionellen Werkzeugen können einen wichtigen Beitrag leisten, künftige Leitwarten ganzheitlich an den Fähigkeiten und Bedürfnissen der Operatoren auszurichten. In der domänenübergreifenden Nutzungskontextanalyse hat sich gezeigt, dass die aktuellen Arbeitsumgebungen die Operatoren bei der Ausführung ihrer Tätigkeiten im Rahmen von Primäraufgaben ungenügend unterstützen. Das vorherrschende Interaktionsparadigma in den Leitwarten – Desktop-Systeme – wird dabei durch neue Interaktionsformen abgelöst.

Die gestalteten Interaktions- und Visualisierungskonzepte erheben den Anspruch der Domänenunabhängigkeit, d. h., sie sind in unterschiedlichen Leitwartendomänen einsetzbar. Anhand von repräsentativen Prozesstypen aus dem Kontext der Verkehrsüberwachung und der Energiegewinnung werden exemplarisch die Potenziale der neuen Konzepte hinsichtlich der Gestaltung anhand von vier *Design Cases* erläutert. So werden beispielsweise neben neuen Interaktions- und Visualisierungsformen auch unterschiedliche Displayebenen und -formen für die Prozesstätigkeiten eingesetzt.

Es wird in den jeweiligen Kapiteln der Frage (F3 und F4) nachgegangen:

Wie lassen sich nutzerzentrierte Interaktions- und Visualisierungskonzepte sowohl für (F3) Überwachungs- und Diagnosetätigkeiten als auch für (F4) Manipulations- und Dokumentationstätigkeiten unter Berücksichtigung aktueller Trends der MCI gestalten?

Die *Design Cases* im Kontext der Verkehrsleitzentralen zeigen neue Konzepte auf, die in Bezug auf *Public Spaces* dem allgegenwärtigen Übersichts-Detail-Paradoxon entgegenwirken. Dem Operator soll innerhalb der Mehrbenutzerumgebungen zusätzlich die Möglichkeit geschaffen werden, lokale Prozessdetails abzurufen, ohne dabei den Kontext über den Gesamtprozess zu verlieren (Schwarz, Butscher, Müller & Reiterer, 2013; Schwarz, Butscher, Müller & Reiterer, 2012b; Schwarz, Butscher, Müller & Reiterer, 2012a; Schwarz, Butscher, Müller & Reiterer, 2011). Darüber hinaus wird im *Private Space* ein gebogenes interaktives Display eingesetzt, um die Diagnosetätigkeiten direkt am Arbeitsplatz zu unterstützen (Schwarz, Hennecke, Lauber & Reiterer, 2012). Die *Design Cases* in der Energiegewinnung beschäftigen sich mit dem Rückgang von prozessrelevanten Informationen während der Manipulation von Prozessvariablen (Schwarz, Müller, Butscher & Reiterer, 2013; Schwarz, Müller, Butscher & Reiterer, 2012; Schwarz, Müller, Butscher & Reiterer, 2011; Schwarz, Heilig, Butscher, Müller & Reiterer, 2011) und der Dokumentation von manuellen Eingriffen (Schwarz, Heilig, Butscher, Müller & Reiterer, 2011; Schwarz, Kehr, Oortmann & Reiterer, 2010; Schwarz, Oortmann & Reiterer, 2010). Alle *Design Cases* sind anhand von experimentellen Benutzerstudien untersucht worden.

Reflexion – Diskussion und Anwendbarkeit der exemplarischen Interaktions- und Visualisierungskonzepte auf andere Domänen (Kapitel 7)

In der letzten Phase der Arbeit wird zum einen diskutiert, ob die neuen Interaktions- sowie die Visualisierungskonzepte die vorherrschenden Interaktionsparadigmen der Leitwarten ablösen, und zum anderen, inwiefern die Konzepte auf andere Domänen übertragbar sind. Im Sinne einer holistischen Gestaltung der Arbeitsumgebung bedarf es einer angemessenen Auswahl an Designprinzipien, um den Operator in seinen realen Abläufen zu entlasten. Die entwickelten Konzepte, die die ganzheitliche Unterstützung des Operators mit seinen angeborenen und erlernten Wahrnehmungsfähigkeiten bekräftigen, müssen ganzheitlich bewertet werden. In der Arbeit werden Konzepte gestaltet, von denen gefordert wird, dass sie prinzipiell domänenübergreifend angewendet werden können. Die exemplarisch umgesetzten Konzepte sind jeweils in ihrem domänenspezifischen Kontext evaluiert worden. Im Rahmen der Abstraktion werden diese im Hinblick auf die Möglichkeit der Übertragung auf andere Domänen diskutiert. Durch entsprechende Abstraktion können aus den spezifischen Kontextszenarien generische Kontextszenarien abgeleitet werden. Hierbei werden einerseits die Interaktions- und Visualisierungskonzepte untersucht, die die Aufgaben am besten unterstützen, und andererseits wird der Frage nachgegangen, wie die Konzepte auf Leitwarten anderer Domänen angewendet werden können.

Abschließend wird folgende Forschungsfrage (F5) beantwortet:

Inwieweit lassen sich die aktuellen Trends der MCI, die die evolutionsbedingten Interaktionsformen des Menschen mit den Potenzialen der digitalen Welt kombinieren, im Kontext der Gestaltung von Benutzungsschnittstellen von Leitwarten anwenden, und sind diese domänenübergreifend einsetzbar?

Die neuen Ansätze, die im Rahmen der Arbeit eingesetzt worden sind, müssen dahingehend diskutiert werden, inwiefern diese die Designprozesse von interaktiven Benutzungsschnittstellen im Leitwartenkontext fördern. Maßgeblich ist es dabei, den Blickwinkel zu erweitern und den Menschen mit seinen physischen, sozialen und kognitiven Fähigkeiten als Ganzes zu betrachten (Schwarz, Butscher, Müller & Reiterer, 2013; Schwarz, Müller, Butscher & Reiterer, 2013).

1.3 Aufbau der Arbeit

Kapitel 1 – Einführung – fasst die grundlegende Motivation und die damit verbundene Zielsetzung der vorliegenden Arbeit zusammen, und zwar den Operator durch den Einsatz von realitätsbasierten Benutzungsschnittstellen zu entlasten. Dabei wird der wissenschaftliche Beitrag in Form von Forschungsfragen, die in diesem Kapitel gestellt werden und zugleich die Struktur dieser Arbeit bilden, vorgestellt.

Kapitel 2 – Leitwarte als Designdomäne – dient als thematische Einführung und vermittelt der Arbeit den zugrundeliegenden Forschungskontext. Zu Beginn wird die menschliche Informationsverarbeitung mit den bedeutenden Aspekten der Wahrnehmung bis hin zum subjektivierenden Arbeitshandeln vorgestellt, um die menschlichen kognitiven Verarbeitungsprozesse zu erläutern. Darüber hinaus werden einerseits die Veränderungen in den Arbeitsweisen und den damit verbundenen Interaktionsformen der einzelnen LeitwartenePOCHEN betrachtet. Andererseits werden die Situation der Operatoren und deren Tätigkeiten im Wandel der Zeit in Bezug auf die fortschreitende Automatisierung und Virtualisierung beleuchtet.

Kapitel 3 – Untersuchung der Arbeitsumgebung – fasst neben dem Vorgehen und der Methodik die Ergebnisse der domänenübergreifenden Nutzungskontextanalyse zusammen. Hierbei werden sowohl die identifizierten Arbeitsabläufe in alltäglichen Prozesssituationen als auch die gemeinsam mit Experten evaluierten Optimierungspotenziale in Bezug auf die Interaktion und Visualisierung vorgestellt.

Kapitel 4 – Holistic Workspace als Gestaltungsansatz – beschreibt die im Laufe der vorliegenden Arbeit entwickelte Vision einer holistischen Arbeitsumgebung anhand des Rahmenmodells der *Blended Interaction*. Dabei werden die relevanten Theorien und Modelle aus dem Bereich von Post-WIMP-Paradigmen, die die *Blended Interaction* inspiriert haben, vorgestellt. Darüber hinaus werden bereits existierende Forschungsprojekte, die neue Interaktionsformen im Kontext der Arbeitsumgebung von Operatoren einsetzen, diskutiert. Abschließend werden mit den vier Gestaltungsebenen der *Blended Interaction*, *persönliche* und *soziale Interaktion* sowie *Workflows* und *physische Arbeitsumgebung*, die generischen Anforderungen definiert, die in den darauffolgenden Kapiteln exemplarisch umgesetzt werden.

Kapitel 5 – Überwachung und Diagnose – besteht aus zwei Teilen und beschreibt anhand von jeweils einem exemplarischen *Design Case*, wie die Tätigkeiten von Operatoren auf Basis der *Blended Interaction* unterstützt werden können. Der erste Teil erläutert das Interaktions- und Visualisierungskonzept, das den Zweck hat, die Überwachungs- und Diagnostiktätigkeiten auf dem *Public Space* zu unterstützen. Der zweite Teil des Kapitels zeigt anschließend, wie der Operator mit einem vertikal gebogenen Display in der direkten Arbeitsumgebung, dem *Private Space*, unterstützt werden kann.

Kapitel 6 – Manipulation und Dokumentation – enthält die Interaktions- sowie die Visualisierungskonzepte, die, wie im vorherigen Kapitel motiviert, durch das Framework der *Blended Interaction* gestaltet worden sind. Während im ersten Teil eine realitätsbasierte Interaktionsform für die Manipulation von Prozessvariablen vorgestellt wird, beschreibt das zweite Szenario das Konzept einer Vermischung der realen und digitalen Welt im Zusammenhang mit der Erstellung von verschiedenen Dokumentationsartefakten.

Kapitel 7 – Zusammenfassung und Ausblick – enthält zuerst ein Resümee des Forschungsvorhabens und der gewonnenen Erkenntnisse bezüglich des Einsatzes der *Blended Interaction* im Leitwartenkontext. Darüber hinaus werden die exemplarisch gestalteten *Design Cases* reflektiert und bezüglich der Übertragung auf andere Domänen diskutiert. Innerhalb der jeweiligen Abschnitte werden abschließend die Forschungsfragen beantwortet. Im Ausblick werden Potenziale für weitere Forschungsaktivitäten beschrieben.

2 Die Leitwarte als Designdomäne

Inhalt

2.1	Einführung in die Designdomäne.....	14
2.2	Wahrnehmung im Kontext der Arbeitshandlung.....	16
2.2.1	Informationsverarbeitung des Menschen	16
2.2.2	Arbeitsweisen im Wandel der Zeit.....	20
2.3	Evolution der Leitwarten.....	21
2.3.1	Erstes Paradigma: Dezentrale manuelle Prozessführung.....	22
2.3.2	Zweites Paradigma: Zentrale manuelle Prozessführung.....	23
2.3.3	Drittes Paradigma: Zentrale digitale Prozessführung.....	24
2.4	Zusammenfassung und Implikation	32

Durch die stetige Weiterentwicklung im Bereich der Automatisierung sind die technischen Prozesse immer leistungsfähiger geworden. Entsprechend drastisch haben sich über die Jahrzehnte hinweg die Aufgaben und Arbeitsweisen für den prozessführenden Operator verändert. Mit der schrittweisen Zunahme des Automatisierungsgrads sind in Produktionsprozessen die Kosten und Umweltbelastungen gesenkt und die Produktqualität gesteigert worden (Wittenberg, 2001). Zugleich werden dem Operator in der Prozessführung immer mehr die direkten manuellen Eingriffe entzogen, was zu einem Verlust des Verständnisses von Systemzusammenhängen führt. Das hat zur Folge, dass der Operator in kritischen Situationen weniger kompetent reagieren kann.

Im folgenden Kapitel werden die Grundlagen der Leitwarte als Designdomäne im Hinblick auf die zunehmende Digitalisierung vorgestellt. Für die Gestaltung einer nutzerzentrierten Arbeitsumgebung im Leitwartenkontext ist es daher von großer Bedeutung, zu verstehen, wie sich der Operator ein Bild der aktuellen Lage verschafft. Hierbei wird sowohl auf die grundlegenden Modelle der menschlichen Informationsverarbeitung als auch auf die Veränderungen der Arbeitsweisen von Operatoren eingegangen. Dabei werden insbesondere der Einfluss des steigenden Automatisierungs- und Virtualisierungsgrads und die daraus resultierenden Folgen für den Operator anhand der unterschiedlichen Epochen von Leitwarten diskutiert.

Teile dieses Kapitels sind bereits veröffentlicht worden in:

Schwarz, Tobias; Müller, Jens; Butscher, Simon; Reiterer, Harald: Holistic Workspace – Neue Interaktionsformen für die Leitwarte der Zukunft. In USEWARE 2012 – Mensch-Maschine-Interaktion (VDI-Berichte 2179), Kaiserslautern (Deutschland), VDI Verlag, S. 183-195, Dezember 2012.

Schwarz, Tobias; Heilig, Mathias; Butscher, Simon; Müller, Jens; Reiterer, Harald: Die Gestaltung der Arbeitsumgebung von Operatoren (k-) ein Platz für Innovationen? In

AUTOMATION 2011 (VDI-Berichte 2143), Baden-Baden (Deutschland), VDI Verlag, Juni 2011.

Schwarz, Tobias; Kehr, Flavius; Oortmann, Holger; Reiterer, Harald: Die Leitwarte von heute verstehen – die Leitwarte von morgen gestalten! In *Mensch & Computer 2010: Interaktive Kulturen*, Duisburg (Deutschland), Oldenbourg Verlag, S. 93-102, September 2010.

2.1 Einführung in die Designdomäne

In Leitwarten werden komplexe technische Prozesse zentralisiert überwacht und gesteuert. Die Leitwarten sind fernab vom realen Prozessgeschehen platziert. Die Prozessinformationen werden dem Operator auf unterschiedliche Art und Weise in virtualisierter und akustischer Form vermittelt. Leitwarten haben den funktionalen Zweck, eine Schnittstelle zwischen Prozess und Operator herzustellen (Wittenberg, 2001).

Nach DIN EN ISO 11064-1³ ist die Leitwarte eine „Zusammenfassung aus Wartenräumen, Nebenräumen und örtlichen Leitständen, die funktionell in Wechselwirkung stehen und sich am selben Einsatzort befinden.“ (S. 4) Somit ist die Leitwarte eine „funktionelle Kerneinheit und ihr zugehöriger physikalischer Aufbau, in der sich Operatoren aufhalten, die zentralisierte Steuerungs-, Überwachungs- und Leitungsverantwortlichkeiten ausüben.“ (S. 4)

Leitwarten sind daher zentralisierte und prozessferne Aggregationen von Leitständen. Das bedeutet, dass sich in einem Wartenraum auch mehrere Leitstände befinden können.

Der Begriff *Leiten* beinhaltet „zweckmäßige Maßnahmen an oder in einem Prozess, um vorgegebene Ziele zu erreichen.“ (DIN IEC 60050-351⁴, S. 15)

Nach Johannsen (1993) können Domänen unterschiedlich klassifiziert werden. Entweder wird in technischen Prozessen nach der Differenzierung der Automatisierungsgrade und Unterstützungsformen oder nach der Inanspruchnahme von kognitiven Fähigkeiten des Menschen unterschieden. Im Rahmen der Arbeit wird, wie von Johannsen (1993) vorgeschlagen, anhand des technischen Prozesses, der in den Leitwarten überwacht und gesteuert wird, kategorisiert. Das Klassifikationschema umfasst auf der ersten Ebene die Unterscheidung der Prozesse in Produktions-, Informations- und Bewegungsprozesse. Die Bewegungsprozesse wie die direkte Fahrzeugführung (Kraftfahrzeuge und Flugzeuge) werden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Material- und Energieprozesse werden den Produktionsprozessen zugeordnet. Diese beinhalten als Systemklassen auf der zweiten Klassifizierungsebene die klassischen Produktionstechniken wie die Anlagen der Energie-, Verfahrens- und Fertigungstechnik, aber auch Systeme der Rohstoffgewinnung (Bergbau) und Abfallbeseitigung (Müllverarbeitungsanlagen). Die Informationsprozesse sind innerhalb der letzten Jahre bedeutender und umfassender geworden. Diese Systemklasse enthält eine große Anzahl an Anwendungssystemen wie Verwaltungs-, Kontroll- und Datenerfassungssysteme. Zu den Kontrollsystemen zählen beispielsweise Luftverkehrs- oder Gebäudeüberwachungssysteme.

Ein Mensch-Maschine-System ist durch das zielgerichtete Zusammenwirken von einer oder mehreren Personen mit den technischen Systemen zur Erfüllung eines spezifizierten Arbeitsauftrags gekennzeichnet (Johannsen, 1993). Die Leitwarte bildet somit die Schnittstelle zwischen dem Operator und dem technischen Prozess. Für Mensch-Maschine-Systeme in der Prozessführung sind übergeordnete Ziele wie Sicherheit, Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit, Beherrschbarkeit, Arbeitszufriedenheit und Sozialverträglichkeit essenziell (Johannsen, 1993). Der Mensch interagiert mit der Maschine über unterschiedliche Eingabegeräte wie Maus und Tastatur. Dabei greift er sowohl auf der Basis von Umgebungsinformationen als auch der vom System zurückgemeldeten Er-

³ ISO 11064-1 (2000): Ergonomische Gestaltung von Leitzentralen - Teil 1: Grundsätze für die Gestaltung von Leitzentralen.

⁴ IEC 60050-351 (2006): Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch - Teil 351: Leittechnik.

gebnisgrößen manuell in den technischen Prozess ein (siehe Abbildung 4). Die Prozessinformationen werden dem Menschen indirekt, d. h. durch virtualisierte Größen dargestellt.

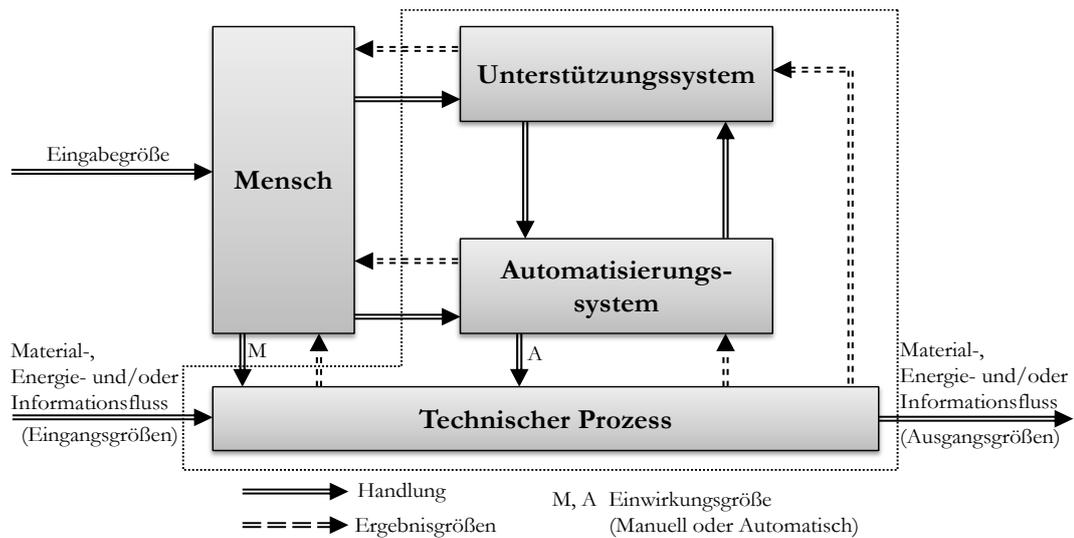


Abbildung 4 Überblick über das Mensch-Maschine-System

Der Mensch überwacht und steuert den technischen Prozess, der die Eingangsgrößen wie Material, Energie und Information verarbeitet. Dabei werden unterschiedliche Unterstützungssysteme durch die Automation zur Verfügung gestellt, die den Operator bei der Entscheidungsfindung entlasten (Johannsen, 1993).

Ein technischer Prozess ist nach Johannsen (1993) ein physikalisch- oder ein chemisch-technischer Vorgang mit je einem Material-, Energie- und/oder Informationsfluss am Ein- sowie am Ausgang (siehe Abbildung 4). Die Eingangsgrößen werden umgewandelt bzw. verarbeitet, die Ausgangsgrößen werden dabei durch den technischen Prozess verändert. Die Definition für einen Prozess nach DIN IEC 60050-351:2006⁵ lautet wie folgt:

„Ein Prozess ist eine Gesamtheit von aufeinander einwirkenden Vorgängen in einem System durch die Materie, Energie oder Information umgeformt oder gespeichert wird.“ (S. 20) Dabei ist der technische Prozess die „Gesamtheit der Vorgänge in einer technischen Anlage.“ (S. 21)

Die physikalischen Größen wie Druck oder Temperatur sowie die dazugehörigen Elemente definieren den Zustand des Prozesses. In der Literatur wird einer physikalischen Prozessgröße und dem damit verbundenen Prozesselement der Begriff der Prozessvariablen zugeordnet (Charwat, 1994; Johannsen, 1993). Die technischen Prozesse können entweder vollständig vom Operator überwacht und bedient oder teilweise bis gänzlich von einem Automatisierungssystem gesteuert werden (Johannsen, 1993). Die Übertragung von Prozesssteuerungs- und Regelungsaufgaben vom Menschen auf Rechnersysteme wird als Automatisierung bezeichnet (Johannsen, 1993).

Domänenübergreifend wird zwischen dem routinartigen Normalbetrieb und der anormalen Betriebsform unterschieden (Herczeg, 2007). Im normalen Betriebszustand besteht die Aufgabe des Operators darin, den Prozess durch das sog. Trimmen der Prozessvariablen ins Gleichgewicht zu bringen. Hierbei muss der Operator den technischen Prozess in einem vordefinierten Karenzbereich führen (Wickens & Hollands, 2000). Bei eventuellen Abweichungen greifen je nach Automatisierungsgrad entweder das Unterstützungssystem oder der Operator manuell ein (siehe Abbildung 4). Hierbei ist zu beachten, dass die Systemrückmeldung an den Operator, z. B. durch die Visualisierung der Prozessvariablen der Kesseltemperatur, mit einer zeitlichen Verzögerung stattfindet. Somit benötigt der Operator ein entsprechendes mentales Modell der Prozesse, um die dort bereits

⁵ IEC 60050-351 (2006): Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch - Teil 351: Leittechnik.

stattgefundenen Zustandsänderungen erkennen und angemessen interpretieren zu können (Wickens & Hollands, 2000). Darüber hinaus zählen zum Normalbetrieb auch beabsichtigte Zustandsänderungen wie das Ein- oder Ausschalten von (Teil)Systemen oder das Hochfahren von Anlagen (Herczeg, 2007). Abweichungen vom Sollzustand werden gegenwärtig entweder vom Unterstützungssystem oder vom Operator im Rahmen seiner Überwachungstätigkeiten festgestellt. Kommt es zu einer Abweichung, wird vom Operator die Diagnose eingeleitet, um das Prozessgleichgewicht durch ein gezieltes Eingreifen wiederherzustellen. Hierbei greift entweder der Operator selbständig ein, oder das Problem wird kooperativ oder kollaborativ mit weiteren Kollegen bearbeitet. Die Kommunikation kann mit anderen Operatoren in der Leitwarte oder mit Servicepersonal vor Ort in der Anlage stattfinden.

2.2 Wahrnehmung im Kontext der Arbeitshandlung

Die Überwachungs- und Diagnosetätigkeiten stellen immer komplexere Anforderungen an den Menschen. Im Zuge dieser Tätigkeiten werden verstärkt die kognitiven Fähigkeiten der Operatoren in Verbindung mit den Aufmerksamkeits- und Wahrnehmungsprozessen gefordert (Klostermann, 2011). Mögliche Fehlbedienungen in den komplexen Arbeitsumgebungen können katastrophale Konsequenzen für die Umwelt sowie für die Menschen selbst haben. Kommt es zu einer anormalen Betriebssituation, ist in den meisten Fällen eine schnelle Reaktion entscheidend. Somit muss bei der Gestaltung von neuen Benutzungsschnittstellen im Kontext der Leitwarte systematisch und sorgfältig vorgegangen werden. Hierbei gilt es, die menschliche Wahrnehmung und Informationsaufnahme sowie die mentalen Modelle zu beachten, um die menschlichen Problemlöse- und Planungsvorgänge zu unterstützen. Im ersten Teil werden die vielschichtigen kognitiven Wahrnehmungs-, Aufmerksamkeits- und Gedächtnisprozesse bei der Informationsverarbeitung des Menschen vorgestellt. Im zweiten Teil werden die gegensätzlichen Ausprägungsformen der Arbeitsweisen des *subjektivierenden* und *objektivierenden* Arbeitshandelns beschrieben.

2.2.1 Informationsverarbeitung des Menschen

Aufgrund der stetig ansteigenden Fülle an Informationen, die vom Operator interpretiert werden müssen, gilt es, die kognitiven Fähigkeiten des Menschen zu unterstützen. Der Begriff *Kognition* fasst die internen Prozesse der menschlichen Informationsverarbeitung sowie das Wissen über die Prozessereignisse zusammen (Dutke, 1994). Im Zuge der Digitalisierung nimmt die Wissensverarbeitung des Operators einen immer höheren Stellenwert ein. Durch die steigende Menge der Prozessinformationen, die sich auf die kognitiven Anforderungen des Operators auswirken, kann es zu Engpässen bei der Informationsaufnahme kommen. Grund hierfür sind die begrenzten menschlichen Verarbeitungskapazitäten. Der Mensch empfängt Informationen mit Hilfe seiner Sinne aus der Umwelt und verarbeitet diese durch kognitive Prozesse, die beispielsweise einen Abgleich mit den gespeicherten Informationen ausführen. Dieser Vorgang löst letztlich eine Reaktion vom Menschen auf die Umwelt aus. In diesem Kontext sind unterschiedliche Verarbeitungseinheiten des Menschen an der Aufnahme und Speicherung von Information beteiligt.

Wickens et al. (2004) stellen in einem generischen Modell den differenzierten Ablauf der menschlichen Informationsverarbeitung von der Reizaufnahme bis hin zur ausführenden Reaktion dar (siehe Abbildung 5). Das Modell beschreibt die Aufteilung der Aufmerksamkeitsressourcen des Menschen in Verbindung mit den unterschiedlichen Prozessen der Informationsverarbeitung. Das Modell lässt sich in drei Phasen der menschlichen Informationsverarbeitung gliedern: die *Erfassung* der sensorischen Stimuli, die zentrale *Verarbeitung* im menschlichen Gedächtnis sowie das *Verhalten* bei der Antwortausführung. Die unzähligen Rezeptoren des menschlichen Körpers empfangen die eingehenden Reize aus der Umwelt und legen diese im sensorischen Kurzzeitspeicher ab. Im sensorischen Gedächtnis findet eine nahezu vollständige Aufnahme der Reizinformation statt. Der Spei-

cher hält die Information nur für rund zwei Sekunden, um die ständige Aufnahme der Reize aus der Umgebung nicht zu hemmen. Die Informationen können so in einem hohen Detailgrad im Speicher abgelegt werden. Jedoch kann nur ein geringfügiger Teil der gespeicherten Informationen für die Verarbeitung innerhalb der Wahrnehmungsprozesse genutzt werden. Grund hierfür sind die selektiven Aufmerksamkeitsressourcen des Menschen. Gleichzeitig wird bei diesem Ablauf den Informationen eine Bedeutung gegeben. Das geschieht durch das ständige Abgleichen mit den Informationen des Langzeitgedächtnisses.

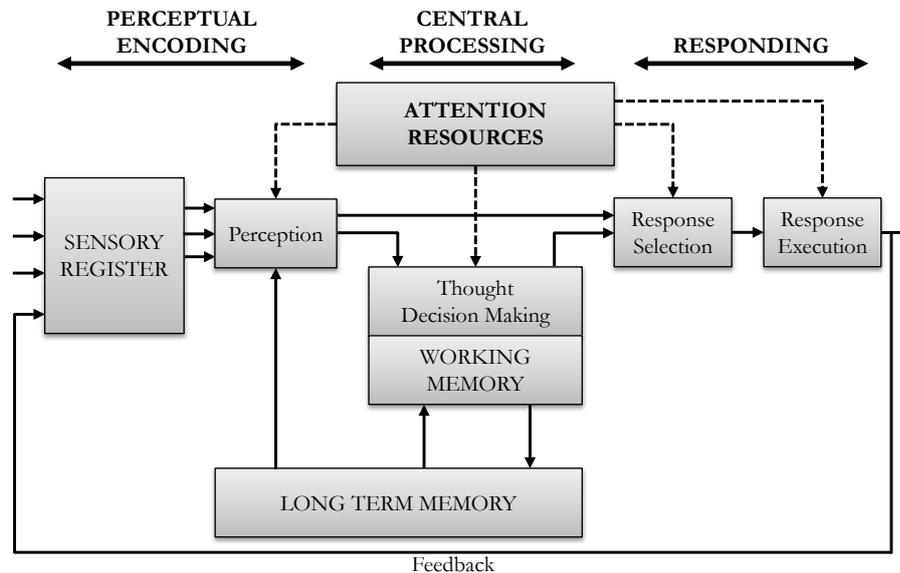


Abbildung 5 Modell der menschlichen Informationsverarbeitung

Das Modell beschreibt, wie die eingehenden Reize aus der Umwelt transformiert werden und eine Antwortreaktion beim Menschen hervorrufen. Dabei werden unterschiedliche Aufmerksamkeitsressourcen beansprucht (Wickens et al., 2004).

Das Langzeitgedächtnis besitzt im Gegensatz zum Kurzzeitgedächtnis eine sehr hohe Speicherkapazität. Nach Hasebrook (1995) liegt die Herausforderung eher im Auffinden als im Vergessen der Information. Die selektive Aufmerksamkeit spielt eine entscheidende Rolle, da diese eine Reduzierung des Informationsbedarfs der zu verarbeitenden Menge an Informationen vornimmt. Hierbei ist die Wahl der Informationsquelle von entscheidender Bedeutung, denn davon hängt die Qualität der damit verbundenen Handlungen ab (Wittenberg, 2001). Bei der Verarbeitung der Informationen kommt es häufig zu modalitätsübergreifenden Interaktionen (Shimojo & Shams, 2001). Beanspruchen die Vorgänge in dieser Phase keine weiteren Handlungsschritte im Arbeitsgedächtnis, führen sie direkt zu einer Reaktion. Die wahrgenommene Information wird im Arbeitsgedächtnis kurz zwischengespeichert, um diese schnell zur Verfügung stellen zu können. Ebenso findet dort parallel ein ständiger Abgleich dieser Informationen mit denen aus dem Langzeitgedächtnis statt. Nach Sharit (2006) wird der Hauptteil der geistigen Aktivitäten, speziell in Problemsituationen, im Arbeitsgedächtnis abgebildet. Die Ergebnisse des kognitiven Teilschritts sind wie auch bei der Wahrnehmung abhängig davon, welche Informationen für den Abgleich zwischen Arbeitsgedächtnis und Langzeitgedächtnis herangezogen werden können.

Zugleich ist nur durch ein fortwährendes Wiederholen eine Informationserhaltung im Arbeitsgedächtnis möglich. Eine Antwortausführung, die eine Reaktion beinhaltet, wird anhand motorischer Handlungen bzw. Entscheidungen hervorgerufen (Sharit, 2006). Für die Auswahl und Ausführung sind die verfügbaren Aufmerksamkeitsressourcen entscheidend. Grundsätzlich sind für die Bedienung zum einen das entsprechende Vorwissen über die Prozesssituation und zum anderen die sensorisch und visuell wahrgenommene Information durch die Interaktion bzw. Visualisierung

essenziell. Nach Parasuraman, Sheridan und Wickens (2000) lässt sich die Funktionsteilung von Mensch und Maschine aus den Stufen der menschlichen Informationsverarbeitung ableiten und umfasst vier wesentliche Kategorien: die *Informationsaufnahme*, die *Informationsanalyse*, die *Entscheidungsfindung* und die *Handlungsausführung*. Nach Manzey (2008) können die Kategorien wie folgt beschrieben werden: (1) Die *Informationsaufnahme* beinhaltet die sensorischen Fähigkeiten des Menschen, wie Umwelteinflüsse wahrgenommen werden. (2) In der zweiten Ebene, der *Informationsanalyse*, werden die zuvor aufgenommenen Daten im Hinblick auf den aktuellen Systemzustand bewertet. (3) Darauf aufbauend, müssen auf Basis der analysierten Daten *Entscheidungen* über die nächsten Handlungsschritte getroffen werden. (4) Zuletzt müssen die *Handlungsschritte* ausgeführt werden, wie z. B. das manuelle *Stellen* eines Sollwerts durch den Operator.

Der Ablauf des menschlichen Verarbeitungsprozesses wird von Rasmussen (1984, 1986) im Modell der sequenziellen Abläufe von Informationsverarbeitungsprozessen beschrieben. Das Modell weist auf Aktivitäten hin, die bei Kontroll- und Problemlösetätigkeiten von Operatoren durchlaufen werden (siehe Abbildung 6).

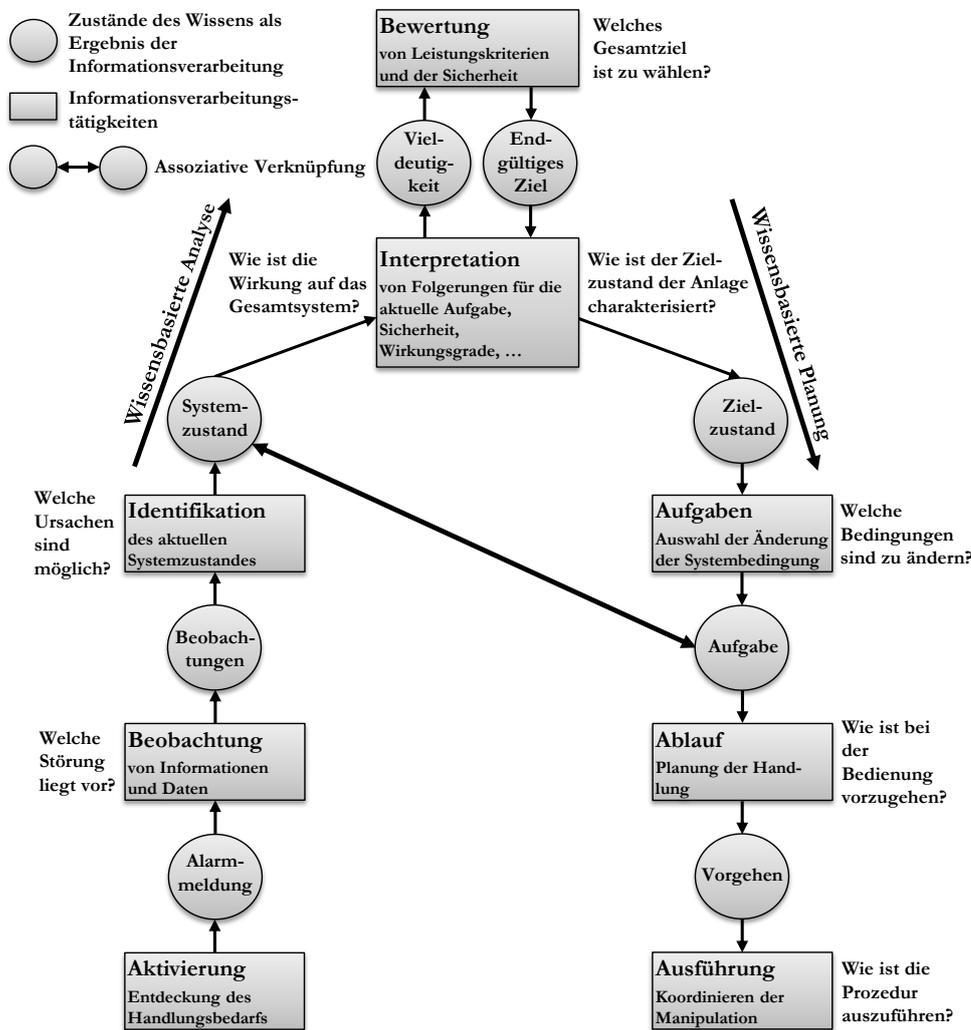


Abbildung 6 Vereinfachtes Modell von Kontroll- und Problemlösetätigkeiten

Leiterdiagramm von sequenziellen Abläufen der Informationsverarbeitung, die bei Kontroll- und Problemlösetätigkeiten hintereinander vom Operator durchlaufen werden; zitiert nach Johannsen (1993) und Wittenberg (2001), Original in Rasmussen (1984)

Ferner werden die unterschiedlichen Wissenszustände bei der Ausführung von Tätigkeiten beschrieben. Rechtecke verdeutlichen die Tätigkeiten der Informationsverarbeitung, in den Kreisen

sind deren Resultate – die Zustände des Wissens – dargestellt. Die Aktivierung wird beim Operator ausgelöst, wenn ein entsprechender Handlungsbedarf erkannt wird (siehe Abbildung 6, links unten). Abhängig vom Kenntnis- und Erfahrungsstand des Operators wird das Modell bis zur Spitze abgearbeitet. Dort wird die Gesamtsituation bewertet. Je schwieriger das Problem bzw. die Tätigkeit für den betroffenen Operator zu lösen ist, desto weiter nähert er sich der Spitze des Modells. Dort wird über die wissensbasierte Situationsanalyse eine Bewertung durchgeführt. Anhand dieser Bewertung wird die wissensbasierte Handlungsplanung erstellt. Das Modell schließt mit der Ausführung von konkreten Handlungen (siehe Abbildung 6, rechts unten). Anhand der Struktur des Modells zeigt sich, wie die Operatoren sukzessive bei der Analyse und Planung vorgehen. Eine Vielzahl an Zuständen und Informationsverarbeitungstätigkeiten muss bei der Aufgabenbewältigung durchlaufen werden.

Rasmussen (1983) teilt im *SRK-Modell* (*Skill-, Rule- und Knowledge-Level*) das menschliche Verhalten bei der Aufgabenbearbeitung in drei Handlungsebenen ein. So können entsprechend zur Zielerreichung *sensomotorische Fertigkeiten*, *regelbasiertes* oder *wissensbasiertes Verhalten* eingesetzt werden (siehe Abbildung 7). Es wird jeweils die nächsthöhere Stufe der Verarbeitung genommen, wenn die aktuelle Ebene nicht mehr greift.

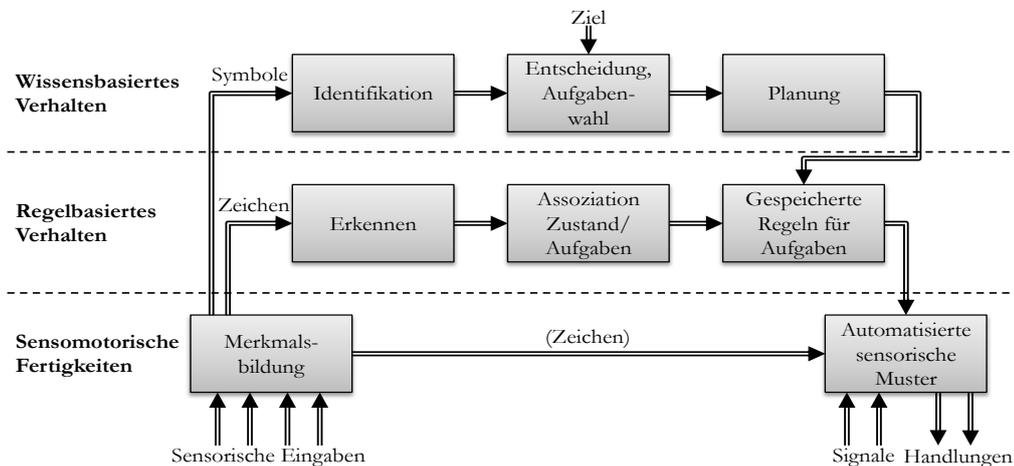


Abbildung 7 Gliederung menschlichen Verhaltens in drei kognitive Ebenen

Die eingehenden Informationen beim Menschen werden objektiv über alle Ebenen hinweg gleich dargestellt. Eine Unterscheidung in Handlungsebenen wird subjektiv vom Menschen je nach Vorwissen und Fertigkeiten getroffen. Zitiert nach Johannsen (1993), Original in Rasmussen (1983)

Das *fertigkeitsbasierte Handeln* auf der untersten Ebene entspricht sehr stark automatisierten Handlungen, die ohne tiefere kognitive Verarbeitungsprozesse (motorische und perzeptuelle Komponenten) ausgeführt werden. Eingehende Reize werden vom Menschen sofort erkannt, und im Gegenzug werden die abgespeicherten Handlungsmuster angewendet. Auf der nächsten Ebene, dem *regelbasierten Verhalten*, verstärkt sich die Tiefe der kognitiven Verarbeitungsprozesse. Hierbei greift der Mensch auf vertraute Regeln aus bekannten Situationen zurück. Um die entsprechenden Regeln für die Handlung abzuleiten, muss die Situation durch den Menschen assoziiert werden. Das unterscheidet diese von der zuvor beschriebenen Ebene, denn hierbei müssen mit der aktuellen Situation sog. Wenn-Dann-Regeln beachtet werden (Johannsen, 1993). Das *wissensbasierte Handeln*, die höchste kognitive Ebene, steht für aktives Problemlösen, wenn bei eintretenden Situationen keine geeignete Regel zur Problemlösung herangezogen werden kann. Auf Basis der Vorerfahrung, des Wissensstands und der Informationen zur aktuellen Situation werden neue Regeln für die Handlung generiert (Wittenberg, 2001). Gegensätzlich zu den automatisierten Prozessen der *fertigkeitsbasierten Ebene* werden die Prozesse der Informationsverarbeitung beim *wissensbasierten Verhalten* auf der höchsten Ebene bewusst vom Menschen kontrolliert (Wittenberg, 2001).

2.2.2 Arbeitsweisen im Wandel der Zeit

Nach Böhle und Rose (1992) lassen sich zwei Arten des Handelns unterscheiden, zum einen das *subjektivierende* und zum anderen das *objektivierende* Arbeitshandeln. Die unterschiedlichen Handlungsformen haben ihren Ursprung in einer Untersuchung von Arbeitsbedingungen in der industriellen Fertigung. Dabei basiert das *subjektivierende* Arbeitshandeln auf der komplexen sinnlich-körperlichen Wahrnehmung, und das *objektivierende* Arbeitshandeln ist durch eine objektiv-neutrale Beziehung zur Umwelt geprägt. Tabelle 1 nach Böhle und Rose (1992) verdeutlicht die unterschiedlichen Handlungssituationen.

Tabelle 1 Überblick über das subjektivierende und objektivierende Arbeitshandeln

Subjektivierendes Arbeitshandeln	Objektivierendes Arbeitshandeln
Komplexe sinnliche Wahrnehmung und Vorstellung	Wahrnehmung definierter und messbarer Information
Praktische Kenntnisse und intuitiv assoziatives Denken	Theoretische Kenntnisse und logisch-formales Denken
Dialogisch-interaktives Vorgehen	Planmäßiges Vorgehen (Trennung von Planen und Ausführen)
Persönliche Beziehung	Sachlich distanzierte Beziehung

Die Ebene der sinnlichen Wahrnehmung hat beim *subjektivierenden* Arbeitshandeln einen besonderen Stellenwert. Dieses Handeln, das auch mit *tacit skills* in Verbindung gebracht worden ist (Hornecker, 1997), beruht auf der komplexen sinnlichen Wahrnehmung des Menschen. Es ist mit der subjektiven Wahrnehmung verknüpft und erstreckt sich sowohl über die menschlichen Sinne als auch deren Bewegungen. Die sinnlich-körperliche Wahrnehmung bezieht sich auf vielfältige und komplizierte Informationsquellen.

Nach Hornecker (1997) ist das *subjektivierende* Arbeitshandeln „an die Person gebunden, prozeßhaft-interaktiv, emphatisch, gefühlsbetont und intuitiv – im Gegensatz zum objektivierenden Arbeitshandeln, das rational, planerisch, analysierend ist. Es bezieht alle Sinne und – direkt oder indirekt – den Körper (Leib) ein. Statt konzentriert, punktgenau und zielgerichtet zu beobachten, schweift die Aufmerksamkeit und registriert offen und breitbandig, sozusagen aus den Augenwinkeln, aus der Peripherie des Bewusstseins.“ (S. 1)

Beim *subjektivierenden* Arbeitshandeln entstehen infolge sinnlicher Wahrnehmung handlungs- und bedeutungsrelevante Zusammenhänge (Böhle & Rose, 1992). Diesbezüglich schreibt Hornecker (1997):

„Das Leitwartenpersonal einer Anlage geht z. B. im Geiste an den Kesseln vorbei, erfahrungsgemäß ‚problematische‘ Kessel werden dabei als ‚größer‘ imaginiert.“ (S. 1)

Vor allem die körperlichen Bewegungsabläufe bei Bedienhandlungen werden vom Menschen gespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt aus dem Gedächtnis abgerufen. Das *objektivierende* Arbeitshandeln richtet sich nach „objektivierbaren, d. h. personen- und situationsunabhängigen, generell gültigen Kriterien.“ (Böhle, 2001, S. 118) Beim Handeln ist die sinnlich-körperliche Wahrnehmung weniger bedeutsam, da die Entwicklung zur geistigen Arbeit geht und die Mediatisierung der Technik zunimmt (Böhle & Rose, 1992). Die Bewertung der visuell aufgenommenen Information steht dem Menschen in Form von formalisierbarem Wissen zur Verfügung. Dabei wird das technisch-analytische Denken unterstützt und das zweckrationale Handeln ermöglicht. Für die praktische Handlungsausführung sind Körperbewegungen erforderlich, die durch Entscheidungen rationaler Art entstehen. Nach Böhle (2001) sind diese im Wesentlichen quasi-automatisiert. Somit entsteht nach Böhle et al. (2011) eine „Entkörperlichung und Entsinnlichung von Arbeit“ (S. 17), was zunächst den Augenschein einer „Befreiung von körperlicher Mühsal“ (S. 18) erweckt. Die Veränderung lässt den Menschen die Arbeit nicht mehr sinnlich-körperlich wahrnehmen.

Die Besonderheiten des *subjektivierenden* und *objektivierenden* Arbeitshandelns sind für die Arbeit in der heutigen Leitwarte gleichermaßen bedeutsam. So können Interaktionskonzepte, die sich das *subjektivierende* Arbeitshandeln zum Vorbild nehmen, bewusster wahrgenommen werden. Das *objektivierende* Arbeitshandeln ist hingegen wichtig, um die Vielzahl an Prozessinformationen korrekt interpretieren zu können. Die Fähigkeit, je nach Situation zwischen den Handlungsweisen zu wechseln, ist für die Arbeit der Operatoren besonders wichtig (Hornecker, 1997). Im Folgenden wird die Entwicklung der Arbeitsweisen anhand der unterschiedlichen Generationen von Leitwarten beschrieben.

2.3 Evolution der Leitwarten

Durch die industrielle Revolution in Verbindung mit der weitläufigen Etablierung von Produktionsprozessen ist sowohl die gezielte sequenzielle als auch die parallele Steuerung von unzähligen technischen Geräten ein bedeutendes Thema geworden. Dabei hat sich die Prozessführung über Jahre hinweg als Innovationstreiber in der Interaktion zwischen Mensch und Maschine ausgezeichnet, z. B. durch das Einführen von direkten sowie indirekten mechanischen Steuerelementen oder das Anzeigen und Signalisieren von Meldungen. Durch die fortschreitende technische Entwicklung haben sich verschiedene Paradigmen der Interaktion in der Prozessführung herauskristallisiert. Der Begriff *Paradigma* wird dabei nach Kuhn (1970) als etabliertes Verständnis in der Art der Prozessführung mit definierten Methoden und Technologien verstanden. Die verschiedenen Paradigmen können sich durch fortschrittliche Entwicklungen ändern. Diese Paradigmenwechsel münden abermals in einem neuartigen Paradigma.

Historisch betrachtet, lassen sich folglich für die in der Prozessführung verwendeten Interaktions- und Visualisierungstechnologien drei Paradigmen ableiten (siehe Abbildung 8): (a) *dezentrale manuelle Prozessführung*, (b) *zentrale manuelle Prozessführung* und (c) *zentrale digitale Prozessführung*.

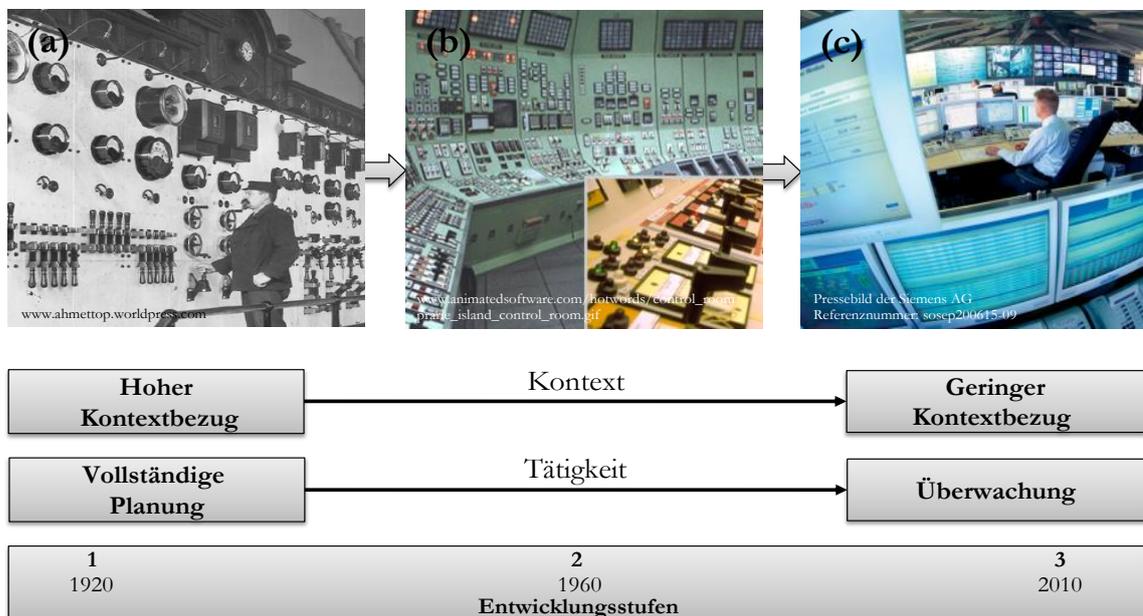


Abbildung 8 Evolution der Interaktionsparadigmen in der Prozessführung

(a) Prozessführung zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts; (b) Zentrale manuelle Prozessführung ab den fünfziger Jahren; (c) Zentrale digitale Prozessführung in der heutigen Zeit (Heuer, 2002; Schwarz et al., 2011)

Zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts sind einzelne Maschinen vor Ort manuell bedient worden (siehe Abbildung 8a). So hat beispielsweise die Manipulation von Prozessgrößen ihren historischen Ursprung in der manuellen Maschinenbedienung. In dieser frühen Phase der Prozessüberwachung

entspricht die vom Operator wahrgenommene Umwelt dem realen Prozessgeschehen der Anlage. In den fünfziger Jahren ist die Interaktion von Mensch und Maschine an einem Ort zentralisiert worden (siehe Abbildung 8b). Diese hat es nun analog ermöglicht, den Prozess als Ganzes zu steuern und zu beobachten. Dem steht die aktuelle Prozessführung der digitalisierten Leitwarte mit ihrer mannigfaltigen Automation gegenüber, die sich auch fernab vom realen Prozessgeschehen befindet (siehe Abbildung 8c).

Im Folgenden werden die einzelnen Ausprägungen der Arbeitsumgebung von Operatoren vorgestellt. Hierbei findet eine Analyse der verschiedenen Paradigmen der Interaktion zwischen Mensch und Maschine statt. Die im Zuge der voranschreitenden Digitalisierung gewonnenen und verlorenen Qualitäten werden dabei entsprechend diskutiert.

2.3.1 Erstes Paradigma: Dezentrale manuelle Prozessführung

Am Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts ist die Prozessführung durch die manuelle Maschinenbedienung geprägt gewesen (siehe Abbildung 9a). Eine Überwachung und Steuerung der gesamten Anlage ist zu diesem Zeitpunkt nicht möglich gewesen, da Operatoren dezentral eingesetzt gewesen sind und somit lediglich den Teilprozess an der jeweiligen Maschine überwachen und steuern konnten (Kurz, 2008). Der Operator ist in die Prozesse eingebettet gewesen, wodurch die wahrgenommene Umwelt dem realen Prozess selbst entsprochen hat (siehe Abbildung 9b).

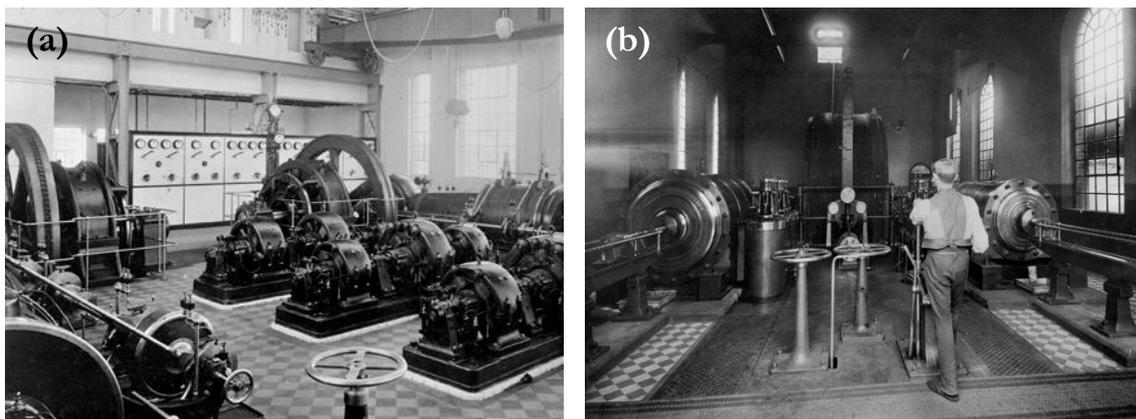


Abbildung 9 Direkte Bedienung der Maschine im Feld

- (a) Die Anzeigen und Stellräder sind unmittelbar an der Maschine angebracht.⁶
(b) Der Mensch bedient die Anlage direkt im Feld und bekommt die Eigenschaften der Maschine durch Lärm und Vibration unmittelbar zurückgemeldet.⁷

Durch die unmittelbare Wahrnehmung der Ein- und Ausgabe einer Maschine ist die Prozessführung geprägt gewesen. Das ist zum einen implizit durch die Wahrnehmung von Gerüchen, Temperaturunterschieden, Geräuschen oder Vibrationen der Maschinen (Kurz, 2008) und zum anderen durch explizite Bedienhandlungen, z. B. durch spürbare Widerstände bei der Nutzung mechanischer Stellteile (Handräder oder Hebel), geschehen.

Nach Ulich (1992) sind es gerade die sinnlich-körperlichen Informationen und der „*Grad der Prozessnähe*“ (S. 219), die stark zum Erfahrungswissen eines Operators beitragen und diese Art der Prozessführung prägen. Die Ausführung einer Bedienhandlung leitet sich vom Verb *handeln* ab. Zu jener Zeit hat das auch der tatsächlichen Bedeutung von einer direkten Interaktion mit den Händen, z. B. berühren, bearbeiten oder verrichten, entsprochen. Somit entspricht diese Art der Prozessführung durch die ausgeprägte sinnlich-körperliche Wahrnehmbarkeit der Form des *subjektiverenden*

⁶ http://www.ge.com/de/images/unternehmen/1_3_geschichte_feature_image.png, zuletzt aufgerufen am 23.05.2014.

⁷ <http://www.industriekultur-museumos.de/system/html/Industrialisierung-b50de064.jpg>, zuletzt aufgerufen am 23.05.2014.

Arbeitshandelns. Der Operator konnte aufgrund der Erfahrung im Umgang mit der Maschine auf stark automatisierte Handlungsmuster ohne tiefe kognitive Verarbeitungsprozesse zurückgreifen (vgl. *sensomotorische Ebene* im *SRK-Modell* nach Rasmussen, 1983; siehe Abschnitt 2.2.1).

Die unmittelbare Prozessnähe hat jedoch auch entscheidende Nachteile für Operatoren gehabt, da diese oftmals sehr hohen Gefahren ausgesetzt gewesen sind. Eine unerwartete Fehlfunktion der Maschine hat sich auf die direkte Arbeitsumgebung und dadurch auch unmittelbar auf den Operator ausgewirkt. Die konstant widrigen Arbeitsbedingungen durch Lärm und Vibration haben zudem gesundheitsgefährdende Auswirkungen für den Menschen gehabt (Böhle & Rose, 1992). Darüber hinaus sind sehr viele Operatoren nötig gewesen, um die räumlich verteilten Prozesse zu steuern.

In den dreißiger Jahren des vorigen Jahrhunderts ist durch das Einführen von Steuerschränken in Produktionshallen eine sequenzielle Steuerung von mehreren technischen Prozessen ermöglicht worden. Dieser Wandel leitet das zweite Paradigma der Prozessführung ein.

2.3.2 Zweites Paradigma: Zentrale manuelle Prozessführung

Anfangs hat jeder einzelne Steuerschrank einen Prozessabschnitt oder eine Maschine abgebildet (Kurz, 2008). Anstelle der direkten Bedienung der Anlagen vor Ort konnte der technische Prozess mit Hilfe eines Steuerschranks ferngesteuert werden. Unter dem Begriff des Leitstands ist die Steuerung in ihren Anfängen zunächst noch eng mit dem Prozess verbunden gewesen. Vibrationen und akustische Signale der Maschinen konnten dadurch noch immer direkt wahrgenommen werden (Wittenberg, 2001).

Aufgrund der Industrialisierung in den fünfziger Jahren sind diese Steuermöglichkeiten zentralisiert worden, was dem prinzipiellen Gedanken des Leitwartenbegriffs entspricht. Bei dieser Form werden die technischen Prozesse mit Hilfe von großen Schaltpulten und Wandtafeln gesteuert und überwacht (siehe Abbildung 10a).

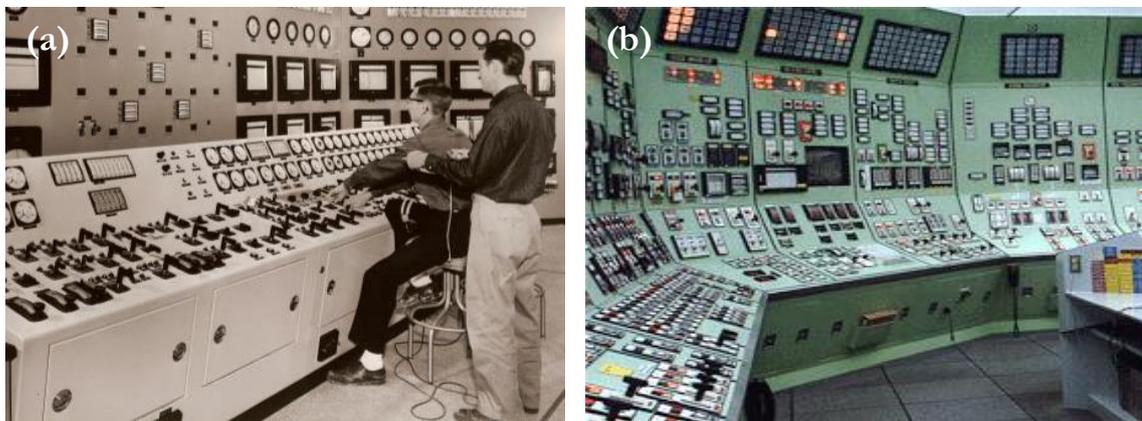


Abbildung 10 Analoge Leitwarte mit Stellteilen und elektromagnetischen Anzeigen

(a) Durch die Position des Körpers sind sich die Operatoren stets bewusst gewesen, an welcher Stelle im Prozess der Kollege arbeitet.⁸ (b) Prägend für diese Ära sind analoge Stellteile und elektromagnetische Anzeigen.⁹

Die vor Ort an der Anlage platzierten Sensoren haben die dem Prozess jeweils zugrundeliegenden physikalischen Größen erfasst und diese in die Leitwarte geleitet. Leitwarten der ersten Generation sind mit analoger Schalttechnik wie etwa Knöpfen, Drehreglern oder Wandtafeln mit elektromagnetischen Anzeigeräten ausgestattet gewesen (siehe Abbildung 10b). Der manuelle Eingriff der

⁸ http://www.ahmettop.files.wordpress.com/2010/12/control_room0.jpg?w=1000&h, zuletzt aufgerufen am 25.05.2014.

⁹ http://www.animatedsoftware.com/hotwords/control_room/prarie_island_control_room.gif, zuletzt aufgerufen am 25.05.2014.

Operatoren ist durch die Bedienung von physischen Stellteilen erfolgt. Somit ist der Operator zur Bewertung der Zustände völlig vom technischen Prozess getrennt gewesen (Böhle & Rose, 1992).

Die Operatoren mussten sich der Stellteile entlang bewegen, damit sie alle Prozessvariablen bedienen konnten. Jedoch hat diese Zentralisierung den Kontextbezug der Operatoren verringert. Das direkte Prozess erleben ist nicht mehr vorhanden. Prägend für diese Ära der Prozessführung ist das sog. *Single-Sensor-Single-Indicator-Prinzip (SSSI)*. Dieses besagt, dass jedem Anzeigeelement in der Leitwarte genau ein Sensor zugeordnet ist, der am realen Prozess die Messwerte abtastet. Den abgebildeten Sensorwerten im Übersichtsbild sind jeweils analoge Anzeigen sowie ein manuelles Stellteil zugeordnet worden. Dieser grundlegende Paradigmenwechsel hat für die Prozessführung weitreichende Folgen gehabt.

Durch die Dezentralisierung sind die Einflussmöglichkeiten des Operators, z. B. die ganzheitliche Sichtweise auf den technischen Prozess zur Steuerung der Anlage, erweitert worden. Im Gegenzug konnte das Leitwartenpersonal reduziert werden. Der Operator ist nun nicht mehr gezwungen gewesen, sich direkt an der Anlage aufzuhalten. Das hat zur Folge gehabt, dass der Operator den technischen Prozess nicht mehr unmittelbar, sondern durch ein Abbild in Form von Anzeigen wahrnehmen kann. In diesem Zusammenhang wird aufgrund der analytischen Sichtweise durch den Einsatz der Prozessübersicht ein *objektivierender* Handlungstypus ermöglicht. Über ein haptisch wahrnehmbares *Stellen* der manuellen Kontrollelemente ist die Manipulation der Prozessgrößen erfolgt. Dabei hat der Operator im Sinne des *subjektivierenden* Handelns eine haptische Rückmeldung beim Stellvorgang über fühlbare Bedienwiderstände erhalten. Der manuelle Eingriff in Form der Manipulation von Prozessvariablen hat folglich einer indirekten multimodalen Interaktion entsprochen.

Jedoch hat die für das Zeitalter charakteristische *SSSI-Philosophie* zu Problemen geführt. Zum einen erfordert die Arbeitsumgebung einen sehr hohen Platzbedarf, und zum anderen sind die Anzeigen des technischen Prozesses überladen gewesen (Wittenberg, 2001). Durch die 1:1-Zuordnung zwischen Sensor und Anzeigegerät hat es keine Übermittlung von abgeleiteten Größen gegeben. Anhand von vielen einzelnen Signalen musste der Prozesszustand abgeleitet werden. Darüber hinaus waren die Informationen zum Zustand des Prozesses nicht in aggregierter Form verfügbar (Wittenberg, 2001). Im Gegensatz zum ersten Paradigma, der *dezentralen manuellen Prozessführung*, werden beim Operator aufgrund der Komplexität von Problemlösungsstrategien die kognitiven Ressourcen stärker beansprucht (vgl. *regelbasierte* und *wissensbasierte Ebene* im *SRK-Modell* nach Rasmussen, 1983; siehe Abschnitt 2.2.1). Nach Woods, O'Brien und Hanes (1987) besteht die Problematik im Vorkommen von über 2000 Alarmanzeigen, von denen im Störfall sofort 300 aktiv sind.

Die Möglichkeit der digitalen Informationsverarbeitung konnte diesem Umstand entgegenwirken und hat schließlich zum Zeitalter der heutigen digitalen Leitwarte geführt. Die Digitalisierung in den darauffolgenden Jahren hat wiederum neue Möglichkeiten eröffnet, die einen erneuten Paradigmenwechsel in der Prozessführung ausgelöst haben.

2.3.3 Drittes Paradigma: Zentrale digitale Prozessführung

Die digitale Prozessführung hat die Arbeit von Operatoren stark verändert. Im Folgenden wird zunächst in die digitale Prozessführung eingeführt, indem vor allem die physischen Veränderungen der Arbeitsumgebung in der Leitwarte beschrieben werden. Darauf folgend werden sowohl die Einflüsse der digitalen Prozessführung im Hinblick auf die Tätigkeiten, die Veränderung des Situationsbewusstseins durch Automation als auch der Wandel der Zusammenarbeit zwischen den Operatoren vorgestellt.

Die digitale Prozessführung

Durch den Einzug der Automatisierung in den achtziger Jahren ist diese Generation von Leitwarten dadurch gekennzeichnet, dass der Operator mittlerweile hauptsächlich Überwachungstätigkeiten ausführt und lediglich bei anormalen Betriebszuständen oder beim Anfahren einer Anlage in das Prozessgeschehen eingreift. Im Vergleich zum zweiten Paradigma findet der Operator einen völlig neuen Interaktionskontext in seiner Arbeitsumgebung vor. Anstelle von analogen Anzeigen und mechanischen Bedienelementen kann der Prozess über Bildschirme beobachtet sowie mit unterschiedlichen Eingabegeräten gesteuert werden.

Charwat (1994) bezeichnet die digitale Leitwarte als *Fenster zum Prozess* (siehe Abbildung 11a). Prozessvisualisierungen werden derzeit zum einen als Prozessübersicht auf gemeinsam verwendeten Wanddisplays (*Public Space*) genutzt. Zum anderen werden Detailinformationen zu bestimmten Prozessausschnitten auf kleinen Bildschirmen in der Arbeitsumgebung der Operatoren dargestellt. Dabei wird in der Arbeitsumgebung meist das Overview+Detail-Entwurfsmuster eingesetzt. Hierbei werden die Prozessinformationen auf getrennte Displayebenen (*Public Space* vs. *Private Space*) verteilt. Die Einteilung in zwei Ebenen erfolgt, da die Komplexität der technischen Prozesse eine parallele Visualisierung des gesamten Überwachungsbereichs mit allen wichtigen Informationen auf einem Display verhindert. Die Operatoren bekommen durch den *Public Space* einen gemeinsamen Blick auf den technischen Prozess (siehe Abbildung 11b).

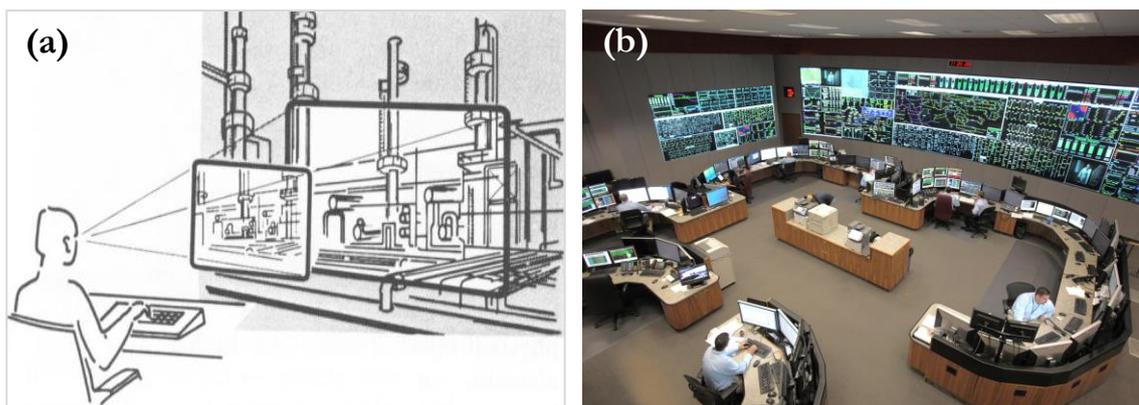


Abbildung 11 Digitale Leitwarte mit Wanddisplay und Bildschirmen

(a) Fernab vom Geschehen bildet die Leitwarte das Fenster zum Prozess. Zitiert nach Wittenberg (2001), Original in Charwat (1994); (b) Die Informationen werden den Operatoren auf großen Wanddisplays (*Public Space*) und einer Vielzahl von Bildschirmen direkt am Arbeitsplatz (*Private Space*) dargestellt.¹⁰

Mit Einführung der Desktop-Systeme werden die Informationen vom technischen Prozess dem Operator virtuell in Form einer grafischen Benutzeroberfläche (GUI) dargestellt. Somit wird enorm viel Platz für die Anzeigen und Kontrollelemente gespart, denn diese können kontextspezifisch dargestellt werden. Der Operator erhält mit der Desktop-Metapher einen visuellen Interaktionsraum mit Fenstern, Menüs oder Icons. Durch das Ablesen der virtuellen Prozessvisualisierungen kann der Operator aktuelle Zustände des Prozesses ableiten. Hierbei findet ein Transfer von Daten und Zusammenhängen, die ursprünglich nicht bildhaft vorhanden sind, in eine grafisch aufbereitete Darstellung statt (Charwat, 1994).

Die Prozessvisualisierung soll dazu führen, dass Informationen einprägsam und einfach verständlich dargestellt und verborgene Informationen angezeigt werden (Wittenberg, 2001). Dabei werden auch die für die aktuelle Situation irrelevanten Informationen ausgeblendet. Die grafische Repräsentation schafft somit Transparenz und verhilft dem Operator dazu, die Systeme leichter überwachen

¹⁰ Pressebild: Siemens AG. (2012) Referenznummer: ICSG201208021-02, zuletzt aufgerufen am 28.04.2014.

und steuern zu können. Gerade durch digitale Visualisierungen, z. B. in Form von Fließbildern, wird die Leistungsfähigkeit der Anlagen drastisch erhöht (Johannsen, 1993). Die Prozesselemente und die dazugehörigen Zustandsgrößen (Stoff-, Energie- oder Informationstransport) im technischen Prozess werden anhand Flussrichtungen in einem virtuellen Prozessbild dem Operator dargestellt (Charwat, 1994). Wittenberg (2001) nennt die Elemente wegen der bildhaften Darstellungsform virtuelle Prozesselemente. Um den kognitiven Aufwand zu reduzieren, wird häufig die Zustandsgröße der Prozessvariablen realitätsnah gestaltet. Wenn die Zustandsgrößen in der realen Welt nicht sichtbar sind, werden entsprechend visuelle Kodierungsformen (z. B. Farbe oder Form), die mit den damit verbundenen Größen assoziiert werden können, visualisiert (Wittenberg, 2001). Prozesselemente haben zudem die funktionelle Eigenschaft der Manipulation der Stellgröße, die ebenfalls virtuell abgebildet wird (Wittenberg, 2001).

Die Steuerung des technischen Prozesses erfolgt vorwiegend per Maus oder Tastatur. Nach Hornecker (2008) wird durch den Einzug der Desktop-Systeme in Verbindung mit Maus und Tastatur die alltägliche Lebenswelt von der digitalen Welt immer weiter abgegrenzt. Hornecker (2008) beschreibt dieses Phänomen und die Konsequenzen wie folgt:

„Ungeachtet dessen, ob wir Texte schreiben, malen, dreidimensionale Gegenstände entwerfen, Statistiken berechnen oder einen Hochofen warten, tun wir dies mit immer den gleichen Bewegungen – Tippen auf der Tastatur, Bewegen der Maus und angestrengtem Starren auf den Bildschirm. Verloren gehen dabei die Vielfältigkeit unserer Alltagswelt, der Reichtum an Umgangsmustern mit der realen Welt sowie die körperliche, alle Sinne einbeziehende Interaktion mit Gegenständen.“ (S. 1)

Im Gegensatz zur digitalen Leitwarte zeigt die Betrachtung der früheren Generationen der Prozessführung, dass manuelle Stellteile wie Drehregler die Vorteile physischer Artefakte gehabt haben. Bei den derzeit eingesetzten Desktop-Systemen beschränkt sich die Wahrnehmung der zu überwachen- den Prozesse fast nur noch auf den Sehsinn. Die evolutionsbedingten sensorischen und sensomotorischen Fertigkeiten des Menschen, z. B. das Fühlen oder Greifen, werden dabei gänzlich außer Acht gelassen. Dies ist für den Operator hinderlich, wenn er Rückschlüsse auf den Zustand des technischen Prozesses ziehen will, da seine angeborenen und erlernten Wahrnehmungsfähigkeiten bei der Interaktion mit Maus und Tastatur nicht unterstützt werden.

Einfluss der digitalen Prozessführung auf die Tätigkeiten des Operators

Durch die digitale Prozessführung haben sich sowohl Anforderungen im Tätigkeits- als auch im Verantwortungsbereich des Operators verlagert. So hat eine Aufgabenverschiebung von Steuerungs- hin zu Überwachungs- und Diagnoseaufgaben stattgefunden. Dies hat zur Folge, dass die Anzahl der Operatoren sowie die notwendigen Eingriffe drastisch reduziert worden sind (Komischke, 2003). Für den einzelnen Operator hingegen haben die Komplexität von Aufgaben und die damit verbundenen Tätigkeiten in der Prozessführung zugenommen (Wittenberg, 2001).

Die Arbeitssituation hat sich dahingehend verändert, dass der Operator durch die räumliche Trennung vom Prozessgeschehen keine direkten manuellen Eingriffe an der Anlage tätigt. Aufgrund der Automatisierung werden die Anweisungen des Operators automatisch von den Unterstützungssystemen ausgeführt. Der Operator greift lediglich bei anormalen Betriebszuständen oder im Falle des An- und Abfahrens der Anlage in das Prozessgeschehen ein. Die Teil- oder Vollautomatisierung der Prozesse kann zu *Vigilanzproblemen* durch die monotone Überwachungstätigkeit führen.

Wie eingangs erwähnt, bezeichnet Sheridan (1996) die Arbeitsteilung zwischen dem Menschen und der Maschine als *Supervisory Control*. Das Modell beschreibt das Zusammenwirken zwischen dem Operator und dem technischen Prozess (siehe Abbildung 12). Der Operator übernimmt beim überwachen- den Führen eine ausschließlich leitende Kontrollfunktion im automatisierten System. Die leitende Kontrolle beschreibt das Zusammenspiel des Operators mit dem technischen Prozess über die Automatisierungs- und Unterstützungskomponenten. Im Optimalfall muss der Operator

lediglich bei anormalen Betriebszuständen korrigierend eingreifen, um den Prozess ins Gleichgewicht zu bringen. Der Rechner nimmt im Zusammenwirken zwischen Mensch und technischem Prozess die Rolle des Vermittlers ein, d. h., die sensorisch erfassten Prozesszustände werden maschinell analysiert und im aufbereiteten Zustand dem Operator über Bildschirmvisualisierungen präsentiert. So ist durch die räumliche Trennung der Zustand des technischen Prozesses nur auf Basis der verfügbaren Prozessinformationen, die in der Leitwarte dargestellt werden, wahrnehmbar.

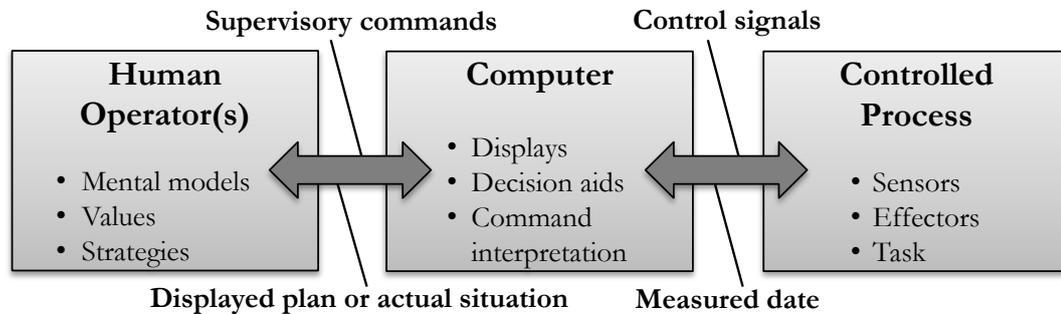


Abbildung 12 Modell des Supervisory Control

Die Aufgaben der Operatoren im Leitwartenkontext werden in rechnergestützten Systemen von Sheridan (1987) als das Supervisory Control bezeichnet.

Operatoren überwachen und steuern den technischen Prozess, indem sie die aktuelle Situation mit dem mentalen Abbild in Beziehung setzen (Wittenberg, 2001). Diese mentale Abbildung, die die strukturierten Handlungsweisen beinhaltet, wird Schema genannt. Mit Hilfe dieser Schemata können die Operatoren auf die jeweilige Prozesssituation angemessen reagieren (Wittenberg, 2001). Ebenso werden diese Schemata auch als mentales Modell bezeichnet (Sheridan, 1996; Wickens et al., 2004).

Nach Dutke (1994) sind mentale Modelle ein „*Ausdruck des Verstehens eines Ausschnittes der realen Welt.*“ (S. 2)

D. h., ein mentales Modell ist eine interne Abbildung der realen Umwelt, die den Menschen dazu befähigt, Handlungen auszuführen.

Nach Markman (1999) sind mentale Modelle „*internal representations of external systems.*“ (S. 256)

Die Repräsentation der mentalen Modelle ist kein exaktes Abbild der Funktionsweise der Systeme, sondern ein Abbild, das sich der Mensch ableitet. Mentale Modelle basieren auf den menschlichen Informationsverarbeitungsprozessen sowie der Erfahrung und dem Wissen (Norman, 1983). Der Operator muss über eine interne Repräsentation des technischen Prozesses verfügen, die die dynamischen und statischen Parameter des Prozesses sowie mögliche Störeinflüsse der auszuführenden Aufgabe beinhaltet. In diesem Zusammenhang erstellt sich der Operator ein subjektives Abbild des realen Prozesses. Auf dieser Basis werden auch zukünftige Annahmen bezüglich des Systemverhaltens getroffen (Wickens et al., 2004). Mit Hilfe des mentalen Modells ist der Operator somit auch fähig, verschiedene Prozesszustände zu prognostizieren (Rouse & Morris, 1986).

Demnach sind mentale Modelle dynamische Schemata, die mit zunehmendem Verständnis eines Prozesses angepasst werden können. Steht dem Menschen ein angemessenes, also den Erwartungen entsprechendes mentales Modell eines komplexen Systemzusammenhangs zur Verfügung, so lässt sich das System deutlich effizienter bedienen (Kieras & Bovair, 1984).

So sind nach Wittenberg (2001) manuelle Eingriffe des Operators in den technischen Prozess umso effektiver, „*je angemessener das der Handlungsregulation zugrunde liegende mentale Modell ist.*“ (S. 84)

Nach Herczeg (2004) erfolgt bei der Visualisierung und Virtualisierung des realen Prozesses eine Deformation durch einen komplexen Transformationsprozess (siehe Abbildung 13).

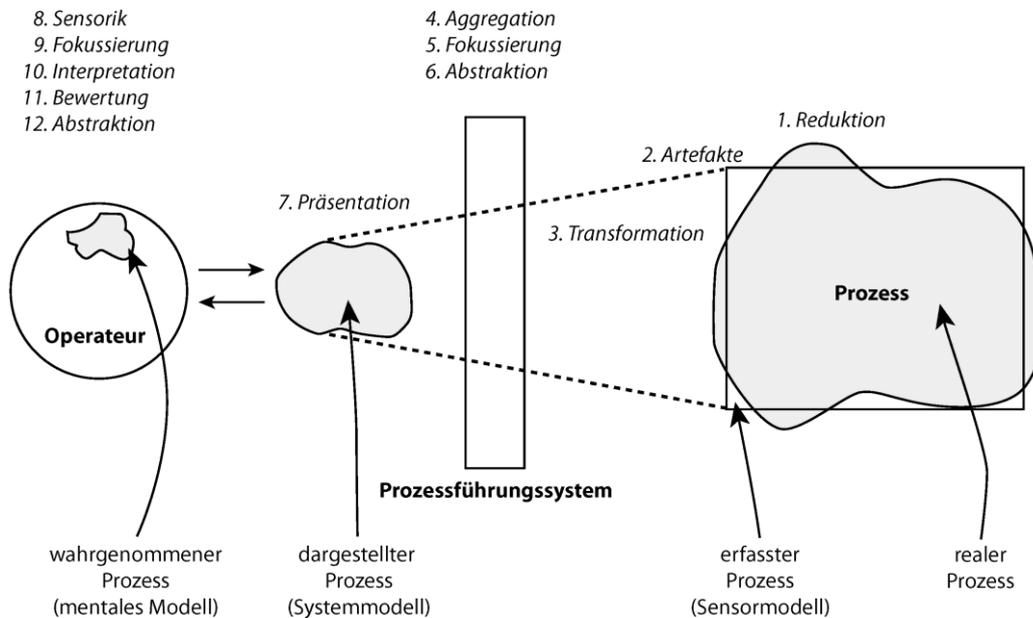


Abbildung 13 Mentales Modell des tatsächlich wahrgenommenen Prozesses

An der Benutzungsschnittstelle des Operators erfolgt eine Deformation des Prozesses durch eine Reduktion von Information. Zitiert nach Müller (2012), Original in Herczeg (2004)

Die *Reduktion* (1) hat zur Folge, dass das mentale Modell des Operators nicht mehr mit dem realen Prozessbild übereinstimmt. Zu Beginn wird direkt der erfasste Prozess mit den Sensoren (*Sensormodell*) deformiert (2 und 3), damit die physikalischen Prozesseigenschaften (Gerüche) oder auch Störgrößen wie Lärm nicht in die Arbeitsumgebung weitergeleitet werden. Darüber hinaus fasst die *Aggregation* (4) mehrere Komponenten zusammen, und die *Fokussierung* (5) bewirkt, dass nur bestimmte Prozessausschnitte visualisiert werden. Durch Bildung *abstrakter Prozessgrößen* (6) wie die Prozessvariablen wird der reale Prozess vereinfacht dargestellt. Im nächsten Schritt der *Präsentation* (7) werden nicht nur die sichtbaren, sondern auch die nicht sichtbaren Zustandsgrößen visualisiert. Die letzte Deformation, wie der Operateur den realen Prozess wahrnimmt, findet durch verschiedenste *kognitive Vorgänge* statt (8 bis 12). Die Verbindung zwischen realem Prozess und Operateur ist die Benutzungsschnittstelle des Prozessführungssystems.

Charwat (1994) zeigt in einem Modell die unterschiedlichsten Kompatibilitätsbeziehungen zwischen Mensch und Maschine (siehe Abbildung 14). Nach Wittenberg (2001) können diese Beziehungen herangezogen werden, um ein korrektes mentales Modell von der Arbeitsumgebung abzuleiten. Hierbei spielen diverse Faktoren zwischen Mensch und Maschine eine wichtige Rolle. (1) Zu Beginn wird eine Beziehung zwischen dem Prozess im Feld und der Visualisierung der Prozessvariablen in der Leitwarte hergestellt. (2) Im nächsten Schritt baut der Operateur ein mentales Modell durch die Beziehung zwischen der Visualisierung des Prozesses und seinen Vorstellungen auf. (3) Darauf folgend wird die Verbindung zwischen der Visualisierung des Prozesses und der Interaktion mit Eingabegeräten wie beispielsweise Maus und Tastatur beschrieben. (4) Der Operateur benötigt für die tägliche Arbeit unterschiedliche Eingabegeräte, die ebenfalls in eine Beziehung gebracht werden müssen. (5) Darüber hinaus muss der Operateur eine Kompatibilitätsbeziehung zwischen unterschiedlich visualisierten Variablen, die auf mehreren Bildschirmen verteilt sind, herstellen.

So hängt die Nützlichkeit eines mentalen Modells davon ab, wie „gut die tatsächlichen Beziehungen zwischen den abgebildeten Objekten repräsentiert sind.“ (Wittenberg, 2001, S. 86)

Ferner findet beim Operator eine Teilung von mentalen Ressourcen statt. Zum einen wird die mentale Ressource benötigt, um die Haupttätigkeiten wie Steuerung und Überwachung der technischen Prozesse auszuführen, und zum anderen werden mentale Ressourcen zur Interaktion mit der Benutzungsschnittstelle und deren Arbeitsmitteln beansprucht.

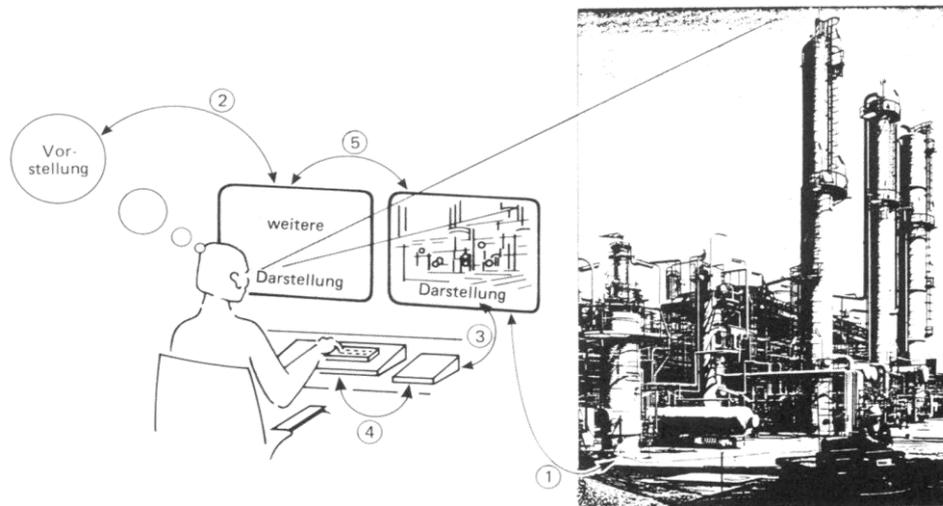


Abbildung 14 Kompatibilitätsbeziehungen in der Prozessführung

Beziehungen im Mensch-Maschine-System sind wichtig, um die Bildung eines mentalen Modells zu unterstützen. Das Modell hängt von der Qualität ab, wie die Beziehungen zwischen den Objekten repräsentiert werden. Zitiert nach Wittenberg (2001), Original in Charwat (1994)

Für Experten ist die mentale Beanspruchung bei der Bearbeitung von Aufgaben geringer, da diese auf verfügbare Arbeitsmethoden, automatisierte Wahrnehmungs- und motorische Fähigkeiten sowie vollständiges Referenzwissen zurückgreifen können (Wittenberg, 2001). Dabei ist der Grad der mentalen Beanspruchung sowohl von der Komplexität der Aufgabe als auch von den persönlichen Leistungsvoraussetzungen des einzelnen Menschen abhängig. Nach Manzey (1997) lässt sich die mentale Beanspruchung als Interaktion zwischen den Fertigkeiten des Menschen und den Anforderungen für die Bearbeitung einer Aufgabe definieren.

Einfluss von Automation auf das Situationsbewusstsein des Operators

Die komplexen Anforderungen im Rahmen von Überwachungs- und Diagnostetätigkeiten können nur durch einen entsprechend hohen Automatisierungsgrad umgesetzt werden, weil sonst die kognitive Leistungsfähigkeit des Operators nicht ausreichen würde, den Prozess ganzheitlich angemessen steuern zu können (Wickens & Hollands, 2000). Das führt dazu, dass der Operator nur einen begrenzten Teil der Anlage aufmerksam überwachen kann. Nach DIN IEC 60050-351¹¹ bedeutet automatisieren:

„Mittel einsetzen, um selbsttätige Funktionen in einem System zu ermöglichen.“ (S. 36)

Der Automatisierungsgrad bezeichnet den Anteil der von der Automation übernommenen Funktionen sowie das Einwirken auf die Prozesse (Johannsen, 1993). Die menschlichen Arbeitsfunktionen zur Steuerung eines Prozesses werden durch die Automatisierung übernommen.

Nach Herczeg (2002) ist die Automatisierung *„nicht zu verstehen als Gegenpol zum manuellen Handeln, sondern als Spektrum zwischen manuellem Handeln und Vollautomatisierung.“ (S. 2)*

Die Rolle der Operatoren hat sich immer mehr in Richtung zum reinen Systemüberwacher mit Beobachtungsaufgaben verschoben (Sheridan, 1996; Ziegeler & Zühlke, 2004). So hat der Operator

¹¹ IEC 60050-351 (2006): Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch - Teil 351: Leittechnik.

mit zunehmendem Automatisierungsgrad immer weniger Möglichkeiten, auf die Prozesse einzuwirken. Bei anormalen Betriebszustand muss der Operator jedoch augenblicklich in der Lage sein, notwendige Gegenmaßnahmen einzuleiten, denn die Folgen eines Störfalls führen zu einem hohen Schadenspotenzial (Perrow, 1984). Letztendlich hat der Operator immer Prozessverantwortung. So sind die Operatoren im Extremfall gezwungen, sich zwischen den Zielen *Sicherheit* und *Profit* zu entscheiden, da etwaige anormale Betriebszustände sowohl hohe menschliche als auch finanzielle Schäden verursachen können.

Aufgrund der immer seltener werdenden menschlichen Eingriffe in den technischen Prozess kommt es zwingend zu *Vigilanzproblemen*, denn die reine Beobachtungstätigkeit führt zu einem folgenschweren Rückgang der Wachsamkeit. Für den Operator wird es immer schwieriger, bei unerwarteten Systemzuständen innerhalb kurzer Zeit eine der Situation angemessene Entscheidung zu treffen. Grund hierfür ist die mangelnde Kenntnis über den Systemzustand (Endsley, 1996). Ein hoher Automatisierungsgrad kann beim Operator zum *out-of-the-loop-Syndrom* führen, da es für den Menschen nicht nachvollziehbar ist, welche Funktionen von der Automation übernommen werden. Bainbridge (1983) spricht in diesem Kontext von der *Ironie der Automation*. Durch den Einzug der Automatisierung sollen Fehler bei der Bedienung und Überwachung vermieden werden. Durch die steigende Komplexität werden aber neue potenzielle Fehlerquellen geschaffen. Der Operator wird darin beeinträchtigt, sich ein mentales Modell vom technischen Prozess zu bilden, da die Automation die zuvor selbständig ausgeführten Routineaufgaben übernimmt. Um diesem Effekt entgegenzuwirken, muss das Situationsbewusstsein des Operators im Mensch-Maschine-System aufrechterhalten oder verstärkt werden (Endsley, 1996). Die Grundvoraussetzung für das sichere Handeln von Operatoren in Leitwarten ist, dass die aktuelle Situation im Prozess korrekt wahrgenommen, richtig interpretiert und folglich die zutreffende Handlung generiert wird. Dabei muss der Operator die Prozesse nicht nur wahrnehmen, sondern auch deren Bedeutung verstehen. Hierbei ist nicht nur der aktuelle Systemzustand im Fokus der Betrachtung, sondern auch mögliche Prozessveränderungen und somit auch Prognosen für zukünftige Entwicklungen. In diesem Zusammenhang beschreibt Bainbridge (1997), dass der Fokus des Operators beim Halten des Prozessgleichgewichts eher auf zukünftige Ereignisse von Prozesszuständen gerichtet ist, als existierende anormale Zustände zu verbessern. Mit Hilfe von mentalen Modellen werden diese für den Operator kognitiv anspruchsvollen Vorhersagen über Prozesszustände getroffen. Die *Wahrnehmung*, *Interpretation* und *Prognose* von Systemzuständen werden von Endsley (1995) *Situation Awareness* genannt.

“*Situation Awareness the perception of elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning, and the projection of their status in the near future.*” (S. 36)

Endsley (1995) betrachtet das Situationsbewusstsein als Teil eines Informationsverarbeitungsprozesses, in den die Wahrnehmung, die Aufmerksamkeit und das Gedächtnis integriert sind. Das Situationsbewusstsein ist eine begrenzte Ressource der Aufmerksamkeit und des Arbeitsgedächtnisses eines Menschen. Dabei wirken sowohl unterschiedliche personenabhängige Faktoren, z. B. Erfahrung, Ziele und Erwartungen des Operators, als auch aufgabenabhängige Faktoren, z. B. Stress, Workload, Automation, auf das Gesamtsystem ein. Das Situationsbewusstsein kann in die Phasen *Wahrnehmung*, *Verstehen* und *Projektion* eingeteilt werden (Endsley, 1995; Schaub, 2008), die im Folgenden beschrieben werden.

In der ersten Phase, der *Wahrnehmung (Stufe 1)*, werden die Objekte und deren Umgebung beobachtet, dabei wird vom Menschen Wissen über den aktuellen Zustand der Objekte generiert. Diese können durch die Prozessvisualisierungen wie Fließbilder und deren Prozessvariablen abgebildet sein. Aber auch Objekte physikalischer Natur wie Gerüche oder Vibrationen können als Informationsquellen dienen (Endsley, Bolte & Jones, 2003). Durch das *Verstehen (Stufe 2)* der aktuellen Situation wird Wissen über die Bedeutung der Objekte in der Umwelt erlangt. Dabei helfen mentale Modelle, die aktuelle Situation im technischen Prozess zu bewerten. Hierbei können geeignete In-

teraktions- und Visualisierungskonzepte den Operator unterstützen, um so ein schnelles *Verständnis* der aktuellen Betriebssituation zu erreichen. Abschließend erfolgt in der Phase der *Projektion (Stufe 3)* das Vorhersagen und die Generierung von Annahmen über die zukünftigen Situationen im Prozess, die in der Phase des *Verstehens* geschaffen worden sind, d. h. das Wissen über den zukünftigen Zustand der Objekte (Prozessvariablen). Die Ursachen für die Degeneration des Situationsbewusstseins liegen in einem überschätzten Vertrauen in die Technik und in einer unzureichenden Interpretation der Rückmeldung der automatisierten Systeme, da die manuellen Fähigkeiten und Fertigkeiten der Operatoren nicht mehr gefordert worden sind (Endsley et al., 2003). Gerade beim Versagen des automatisierten Prozesses ist es von entscheidender Bedeutung, dass der Operator mit seinen manuellen Fertigkeiten und Denkmustern die Steuerung übernehmen kann. Wichtig ist dabei die Wahrnehmungsstufe (*Stufe 1*), um derartige anormale Betriebszustände zu erkennen. Darüber hinaus werden auch komplexe Informationsverarbeitungsprozesse vom Operator abverlangt, die auch die zuvor beschriebenen höheren Stufen wie das Verständnis (*Stufe 2*) und die Projektion (*Stufe 3*) einbeziehen. Entscheidend ist jedoch, dass bei Systemen mit hohem Automatisierungsgrad die Diagnose und somit die Ursachenerforschung eines Fehlers deutlich länger dauern als bei teilautomatisierten oder manuell betriebenen Systemen (Endsley & Kaber, 1999). Dieses Phänomen verdeutlicht den Verlust des Situationsbewusstseins auf allen drei Stufen. So können Maßnahmen zur Wiederherstellung einer normalen Betriebssituation in hochautomatisierten Systemen im Extremfall erst mit enormer Verzögerung hergestellt werden (Endsley et al., 2003).

Zusammenfassend lassen sich nach Manzey (2008) drei Problemfelder bei der Nutzung von Automation identifizieren. (1) Es kann aufgrund von übersteigertem und mangelndem Vertrauen von Operatoren in die Automation zu Problemen kommen. (2) Die Aufrechterhaltung eines angemessenen Situationsbewusstseins ist notwendig, um den Prozess durch den Operator im Sollzustand zu halten. (3) Schließlich treten auch aufgrund von hoher Automation Verluste von Fähigkeiten und Fertigkeiten zur Prozessführung auf. Für den Operator stellt ein hoher Automatisierungsgrad insofern eine große Herausforderung dar, dass er die aktuelle und zukünftige Prozessdynamik deuten muss (Manzey, 2008). Somit müssen Benutzungsschnittstellen im Leitwartenkontext so gestaltet sein, dass der Operator direkt und schnellstmöglich in den Prozess eingreifen kann. Ein situationsorientiertes Systemdesign unterstützt den Operator beim Erkennen von kritischen Betriebszuständen (Herczeg, 2014).

Einfluss der digitalen Prozessführung auf die Zusammenarbeit zwischen den Operatoren

Trotz des hohen Automatisierungsgrads wird in Leitwarten häufig *kooperativ* oder *kollaborativ* in Teams gearbeitet. Die Zusammenarbeit im Leitwartenkontext ist durch die Benutzung von gemeinsamen Artefakten wie dem großen Wanddisplay, aber auch durch physikalische Objekte wie Schichtbücher oder Übergabeprotokolle geprägt. Diese Kommunikationsform innerhalb der Leitwarte wird nach dem Modell der Raum-Zeit-Matrix von Johansen (1988) als *Face to Face Interaction (Same Place & Same Time)* bezeichnet. Die Dimension der *Remote Interaction (Different Place & Same Time)* bildet beispielsweise die Koordination mit dem Servicepersonal vor Ort ab. Dabei werden in den unterschiedlichen Arbeitssituationen im Rahmen der Zusammenarbeit kooperierende physische Artefakte und digitale Werkzeuge vermischt, um das gemeinsame Arbeiten zu erleichtern (Gross & Koch, 2007). Bei der Zusammenarbeit nimmt das geteilte Situationsbewusstsein eine zentrale Rolle ein. Endsley (1995) definiert für die Arbeitsteilung in Leitwarten den Begriff der *Shared Situation Awareness*. Dabei lassen sich zwei unterschiedliche Arbeitsweisen differenzieren: zum einen ein gleiches Lagebild der am Prozess beteiligten Personen und zum anderen eine arbeitsteilige Differenzierung des Lagebilds (Schaub, 2008). Bei der arbeitsteiligen Differenzierung ist jedes Teammitglied nur für einen bestimmten Teil des Prozesses zuständig. Je komplexer der technische

Prozess ist, desto schwieriger wird es, eine *Shared Situation Awareness* über alle Personen hinweg zu gestalten, da eine Vielzahl an Informationen berücksichtigt werden muss.

In der Literatur werden die Begriffe *Kollaboration* und *Kooperation* unterschiedlich definiert. Nach Koch (2008) beschreibt *Kollaboration* die eigentliche Form der Zusammenarbeit. Dabei werden die geteilten Ressourcen gemeinsam bearbeitet. Im Kontext dieser Arbeit wird das kollaborative Arbeiten von zwei oder mehreren Operatoren als eine Aktivität der *Kooperation* gesehen. Bei kooperativen Tätigkeiten werden die Aufgaben durch unterschiedliche Personen wahrgenommen, um ein gemeinsames Ziel zu erreichen. Die übergeordneten Gesamtaufgaben werden in unterschiedliche Teilaufgaben gegliedert und in Form von Arbeitsteilung von den jeweiligen einzelnen Personen und Gruppen kooperierend gelöst. Formen der Zusammenarbeit wie bei anormalen Betriebszuständen lassen sich anhand der Aktivitäten *Kommunikation*, *Koordination* und *Kooperation* erläutern. Die Operatoren arbeiten zusammen, um das gleiche Ziel, z. B. den Sollzustand des technischen Prozesses wiederherstellen, zu erreichen. Fuks, Raposo, Gerosa und Lucena (2005) beschreiben die drei Aktivitäten wie folgt:

“Communication is related to the exchange of messages and information among people; coordination is related to the management of people, their activities and resources; and cooperation, which is the production taking place on a shared space.” (S. 299)

Die Aktivitäten können nicht völlig isoliert betrachtet werden, vielmehr besteht ein hoher Grad der Abhängigkeit und eine kontinuierliche Wechselwirkung zwischen den Aktivitäten. Dabei kann die *Kommunikation* zwischen den Menschen direkt oder indirekt erfolgen. Hingegen ist eine *Kooperation* nur dann möglich, wenn die beteiligten Personen den Zugriff auf gemeinsame Artefakte untereinander koordinieren und sich über deren Koexistenz bewusst sind (Gross & Koch, 2007; Koch, 2008). Somit bildet die *Kommunikation* die Basis für die *Kooperation* und *Koordination*. Brehmer (1991) definiert die Aktivität des Kommunizierens wie folgt:

“Communication is the cement of the organization, and the greater the need for coordination and cooperation, the greater the necessity for communication.” (S. 9)

Diese bezeichnet im Leitwartenkontext beispielsweise den Austausch von Informationen zwischen den Operatoren, um die Ursache einer Störung zu diagnostizieren. Die *Kommunikation* kann entweder verbal oder nonverbal durch Körperbewegungen erfolgen. Die Betrachtung im zweiten Paradigma der *zentralen manuellen Prozessführung* zeigt, dass sich die einzelnen Operatoren entlang der Bedieninstrumente fortbewegen, um alle Stellteile und analogen Anzeigen abdecken zu können. Diese Form der Interaktion hat zum einen den Vorteil der expliziten Bedienhandlung wie der haptischen Rückmeldung der Stellteile, und zum anderen wird die implizite nonverbale *Kommunikation* zwischen den Operatoren unterstützt. Durch die körperliche Position der Operatoren sowie die der statischen Bedieninstrumente und Anzeigen ist den Operatoren stets bewusst gewesen, an welcher Stelle andere Mitarbeiter in den Prozess eingreifen.

2.4 Zusammenfassung und Implikation

Die beschriebenen Paradigmen zur Prozessführung zeigen die Vor- und Nachteile der entsprechenden Interaktions- und Visualisierungsformen der Epochen auf.

Die Evolution der Mensch-Maschine-Systeme im Leitwartenkontext *„ist, historisch gesehen, gekennzeichnet von einem stark mechanistisch geprägten Systemverständnis.“* (Herczeg, 2008, S. 2)

Der Kontextbezug hat sich über die Jahre sehr stark gewandelt. Nach Hornecker (1997) sind die früheren Tätigkeiten in Anlehnung an das *subjektivierende* Arbeitshandeln prozesshaft-interaktiv, gefühlsbetont und intuitiv im Gegensatz zum heutigen *objektivierenden* Arbeitshandeln gewesen, das als rational und planerisch definiert wird. Das *subjektivierende* Arbeitshandeln berücksichtigt den

Menschen mit allen Sinnen sowie die körperlichen Fähigkeiten bis hin zur emotionalen Verbundenheit mit seiner Arbeitsumgebung. Der Operator steht aufgrund von Automatisierung und Virtualisierung einem völlig neuen Handlungs- und Interaktionskontext gegenüber. Obwohl im Zuge der Digitalisierung einzelne Aufgabenbereiche automatisiert worden sind, stellen manuelle Eingriffe, die durch die gestiegene Komplexität eine entsprechend höhere Aufmerksamkeit erfordern, noch immer einen entscheidenden Arbeitsschritt in der Prozessführung dar (Böhle & Rose, 1992). So birgt der Einzug von Automation Risiken bezüglich des Vertrauens in die Technik, des Verlusts von Fertigkeiten und des Situationsbewusstseins (*Ironie der Automation*). Aufgrund der stetig wachsenden Prozesse arbeiten nach wie vor immer noch mehrere Operatoren in der Leitwarte zusammen. Dabei spielt die *Shared Situation Awareness* eine entscheidende Rolle, da die Handlungen zwischen den Operatoren koordiniert werden müssen, um auf die eintretenden Ereignisse angemessen reagieren zu können.

Die Distanz vom Prozess zum Operator hat im Laufe der Zeit deutlich zugenommen. Dabei hat durch die Mediation eine Deformation des realen Prozesszustands stattgefunden (Herczeg, 2004). So haben sich die ursprünglich prozessnahen Tätigkeiten zu prozessfernen entwickelt. Der Zugang zum Prozess ist für den Operator nur in virtualisierter Form über zahlreiche Bildschirme möglich. Den Operatoren wird es erschwert, sich ein mentales Modell vom System bzw. dem Prozess zu generieren, da die Systeme Routineaufgaben automatisiert verarbeiten. In der Leitwarte sind bei allen Entscheidungsvorgängen des Operators mentale Modelle beteiligt. Innerhalb der Modelle greift der Operator auf interne Wissensrepräsentation zurück, die er in entsprechenden Arbeitssituationen erworben hat. Dabei findet innerhalb der menschlichen Verarbeitungsprozesse sowohl beim Wahrnehmungsvorgang als auch bei der Entscheidungsfindung ein ständiger Austausch zwischen sensorischen Informationen und dem Vorwissen der Operatoren statt. Hierbei zeigt das Modell der sequenziellen Informationsverarbeitung nach Rasmussen (1984, 1986) konkret auf, welche Aktivitäten bei der Durchführung von Kontroll- und Problemlösungstätigkeiten vom Menschen ausgeführt werden. Die kognitive Belastung während der Informationsverarbeitung lässt sich mit Hilfe des *SRK*-Modells nach Rasmussen (1983) darstellen. Je nach Prozesssituation werden alle Ebenen des *wissensbasierten Handelns* und des *regelbasierten Verhaltens* und die damit verbundenen kognitiven Verarbeitungsprozesse durchlaufen. Die Handlungsweisen umfassen die kognitiven Informationsaufbereitungen von der Wahrnehmung bis hin zur tatsächlich abgeleiteten Handlung.

Konkret bedeutet das für die Unterstützung der Bedienhandlung, dass sowohl die sensorisch wahrgenommene Information als auch das Vorwissen bei der Gestaltung von Benutzungsschnittstellen in Leitwarten von essenzieller Bedeutung sind. So wird beispielsweise die sinnlich-körperliche Wahrnehmung verstärkt, wenn die Interaktion mit entsprechenden motorischen und taktilen Eigenschaften angereichert wird. Dabei müssen auch die besonderen Anforderungen, gerade wenn mehrere Operatoren am selben Lagebild in der Prozessübersicht arbeiten, bei der Gestaltung der Benutzungsschnittstelle berücksichtigt werden.

Interaktions- und Visualisierungskonzepte, die nicht an die Informationsverarbeitung des Menschen angepasst worden sind, können Fehlbedienungen der Mensch-Maschine-Schnittstelle hervorrufen. Letztlich steht immer der Mensch für die Überwachung als Redundanz zur Automation zur Verfügung (Manzey, 2008), denn nur dieser kann bei Problemen zur Verantwortung gezogen werden (Johannsen, 1993). Bei der Gestaltung von Benutzungsschnittstellen für sicherheitskritische Systeme sollte somit das Verständnis der menschlichen Informationsverarbeitung berücksichtigt werden, um den Operator bei der Handlungsausführung zu unterstützen. Nachdem im Rahmen dieses Kapitels ein theoretisches Verständnis sowohl bezüglich der Designdomäne als auch der menschlichen Informationsverarbeitung in solch komplexen Überwachungs- und Steuerungstätigkeiten hergestellt worden ist, wird im nächsten Abschnitt ein tiefgreifendes praxisorientiertes Verständnis von konkreten Arbeitsabläufen präsentiert.

3 Untersuchung der Arbeitsumgebung

Inhalt

3.1 Verwandte Arbeiten	36
3.2 Nutzungskontextanalyse.....	38
3.2.1 Klassifizierung der untersuchten Domänen	39
3.2.2 Methoden zur Datenerhebung und Ablauf der Untersuchung	42
3.2.3 Ergebnisse	45
3.3 Zusammenfassung und Implikation	57

Um einer nutzerzentrierten Gestaltung der Arbeitsumgebung und der damit verbundenen Herausforderung einer immerzu ansteigenden Komplexität der Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine gerecht zu werden, müssen die konkreten Anforderungen im Leitwartenkontext identifiziert werden. Das umfasst die Untersuchung der Aufgaben und Tätigkeiten in alltäglichen Prozesssituationen, die zur Überwachung bzw. Steuerung der technischen Prozesse notwendig sind. Aus diesem Grund soll im Rahmen dieses Kapitels folgende Forschungsfrage beantwortet werden:

(F1) Lassen sich aus den Beobachtungen domänenübergreifende Aufgaben und Arbeitsabläufe ableiten und gegebenenfalls entsprechende Optimierungspotenziale identifizieren?

Dazu werden zunächst bisherige Untersuchungen zur Identifizierung von domänenübergreifenden Aufgaben und Tätigkeiten im Leitwartenkontext zusammengefasst. Anschließend werden die Vorgehensweise und Erkenntnisse der durchgeführten domänenübergreifenden Nutzungskontextanalyse in Produktions- und Informationsprozessen vorgestellt. Die mit Hilfe teilnehmender Beobachtung und teilstrukturierter Interviews durchgeführte Evaluation vor Ort in Leitwarten verfolgt das Ziel, ergonomische und tätigkeitsbezogene Gemeinsamkeiten zu identifizieren sowie Verbesserungspotenziale aufzudecken. Darüber hinaus wird der Einsatz von neuen Interaktionstechnologien sowohl empirisch mit Operatoren der unterschiedlichen Domänen als auch analytisch mit Experten aus dem Usability-Bereich evaluiert. Durch eine Bestätigung oder Widerlegung eines möglichen Einsatzes der Technologien werden tiefgreifende Erkenntnisse gewonnen.

Teile dieses Kapitels sind bereits veröffentlicht worden in:

Schwarz, Tobias; Butscher, Simon; Müller, Jens; Reiterer, Harald: Ein Multi-Focus-View Konzept im Kontext der Verkehrsleitzentrale. In Mensch & Computer 2012: interaktiv informiert – allgegenwärtig und allumfassend!?, Konstanz (Deutschland), Oldenbourg Verlag, S. 43-52, September 2012.

Schwarz, Tobias; Kehr, Flavius; Oortmann, Holger; Reiterer, Harald: Die Leitwarte von heute verstehen – die Leitwarte von morgen gestalten! In *Mensch & Computer 2010: Interaktive Kulturen*, Duisburg (Deutschland), Oldenbourg Verlag, S. 93-102, September 2010.

Schwarz, Tobias; Kehr, Flavius; Hermes, Klaus; Reiterer, Harald: Holistic Workspace: Future Control Room Design. In *Proceedings of International Conference on Interfaces and Human Computer Interaction – IADIS '10*, Freiburg (Deutschland), IADIS Press, P. 305-308, July 2010.

Schwarz, Tobias; Oortmann, Holger; Reiterer, Harald: Holistic Workspace – The next generation control room. In *AUTOMATION 2010 – Leading through Automation (VDI-Berichte 2092)*, Baden-Baden (Deutschland), VDI Verlag, Juni 2010.

3.1 Verwandte Arbeiten

In der Literatur finden sich Ansätze, die die wesentlichen Charakteristika der unterschiedlichen Aufgaben und Tätigkeiten von Operatoren beschreiben. Jedoch können nach Klostermann (2011) aufgrund der Vielfalt der Aufgaben, die in den unterschiedlichen Domänen in der Prozessführung bearbeitet werden, letztlich nur allgemeingültige Merkmale für die Aufgabentypen beschrieben werden. So lassen sich nach Wickens und Hollands (2000) *Zeit*, *Kontinuität*, *Vernetzung* und *Risiko* als gemeinsame domänenübergreifende Eigenschaften in komplexen Mensch-Maschine-Systemen ableiten.

Zeit – Der zeitliche Versatz der Darstellung von Prozessänderungen hat zur Folge, dass die Systemrückmeldung bei manuellen Eingriffen vom Operator zeitlich verzögert stattfindet. Klostermann (2011) beschreibt dieses Phänomen anhand eines Hochofens. Der Operator wählt einen definierten Sollwert, um den Prozess im Gleichgewicht zu halten. Durch die Automation werden die notwendigen Mengen an Öl und Energie mit zeitlicher Verzögerung freigesetzt, um so den Sollwert zu erreichen. Um den Operator bei Prozesseingriffen zu unterstützen, sollten bei der Gestaltung der Benutzungsschnittstelle zwei wesentliche Aspekte berücksichtigt werden, und zwar die Unterstützung der Wahrnehmungsfähigkeiten des Operators durch die Stärkung des Situationsbewusstseins und die Förderung von mentalen Modellen (siehe Abschnitt 2.3.3).

Kontinuität – Die Dynamik von technischen Prozessen, die vom Operator überwacht und gesteuert werden, hat in der Regel einen analogen und kontinuierlichen Verlauf. Das steht im Widerspruch zur Prozesssteuerung, da der Operator die manuellen Eingriffe in diskreter Form vornimmt (Klostermann, 2011). Dieses Phänomen muss bei der Gestaltung von Benutzungsschnittstellen im Leitwartenkontext beachtet werden.

Vernetzung – Die technischen Prozesse beinhalten eine Fülle von interagierenden Prozessvariablen, die in den verschiedensten Formen voneinander abhängen. Die Komplexität zeigt sich in Form der Prozessvisualisierungen auf den großen Wanddisplays. So muss der Operator bei anormalen Betriebszuständen durch manuelle Eingriffe beispielsweise in der Lage sein, den aktuellen Status zu diagnostizieren, um ein mögliches Entgegenwirken richtig einschätzen zu können (Klostermann, 2011). Hierbei müssen die Benutzungsschnittstellen das Situationsbewusstsein sowohl bezüglich der Prozessdynamiken als auch das mentale Modell fördern (siehe Abschnitt 2.3.3).

Risiko – Anormale Betriebszustände bei technischen Prozessen im Kontext von sicherheitskritischen Systemen bergen hohe Risiken. Da Ziele konkurrieren, muss ein Operator im Störfall stets die beiden Ziele Produktivität und Profit mit dem der Sicherheit abwägen (Klostermann, 2011). Um dabei eine bestmögliche Entscheidung treffen zu können, muss der Operator durch die Benutzungsschnittstelle unterstützt werden. Im Schadensfall können sogar Menschenleben innerhalb der Leitwarte und auch außerhalb in Gefahr sein.

Nach Johannsen (1993) können die Funktionstypen menschlicher Tätigkeiten in Anlehnung an *Supervisory Control* über unterschiedlichste Domänen hinweg allgemein charakterisiert werden. So sind die Primärtätigkeiten eines Operators in vollautomatisierten Systemen die Überwachung des Prozesses, die Diagnose einer Problemursache und der manuelle Eingriff bei der Manipulation von Prozessvariablen (Johannsen, 2008). Die Norm VDI/VDE 3699 (Blatt 2)¹² beschreibt anhand eines Ablaufdiagramms die unterschiedlichen Hierarchien der Prozessführung (siehe Abbildung 15). Hierbei zeigt sich deutlich die Anlehnung der Funktionstypen an die menschlichen Tätigkeiten des Überwachens, Diagnostizierens und Eingreifens, die von Johannsen (2008) klassifiziert worden sind. So werden mögliche Abweichungen vom Sollzustand sowie vom Verlauf des Prozesses im Zuge der Überwachungstätigkeiten identifiziert.

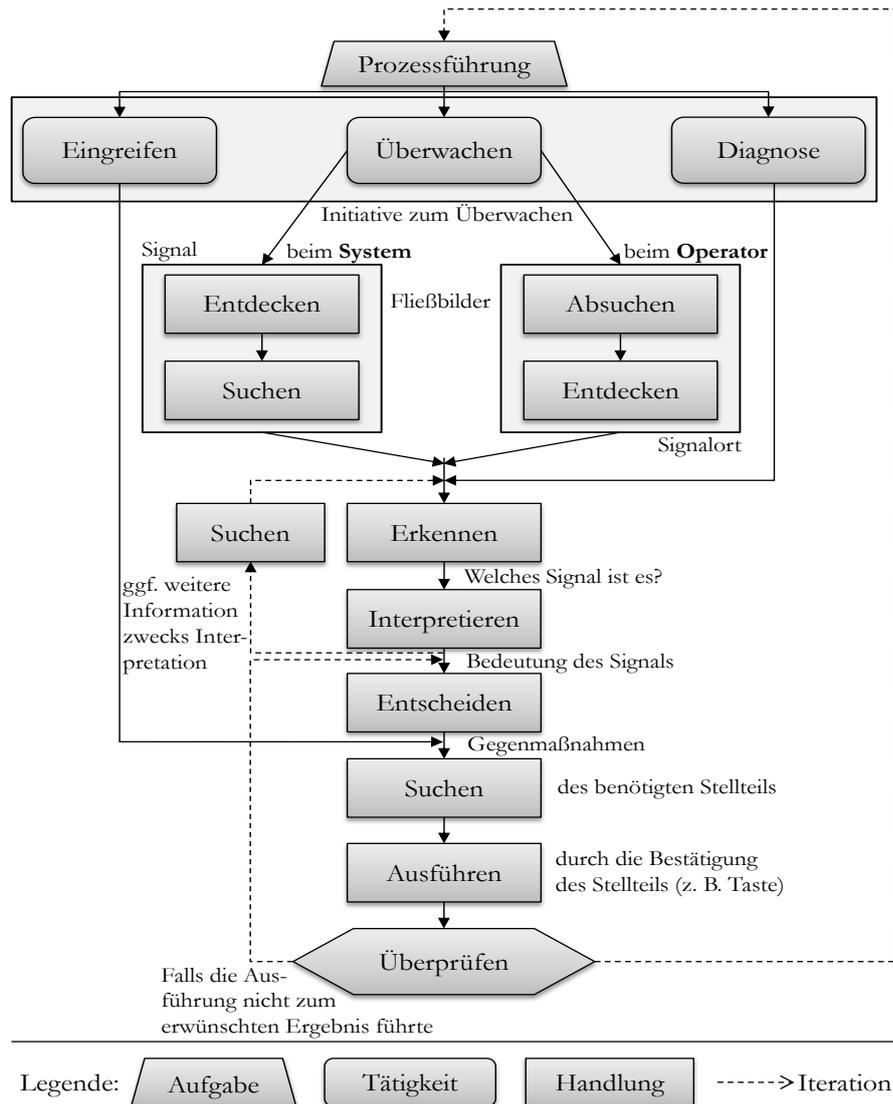


Abbildung 15 Tätigkeiten und Handlungen eines Operators in der Prozessführung

Analog der Aufgabenbeschreibung nach Johannsen (1993) sind die Primärtätigkeiten das Eingreifen, das Überwachen und die Diagnose.

Die Überwachung wird zum einen durch den Operator und zum anderen durch das System gewährleistet. Der Operator erkennt Prozessabweichungen anhand der Prozessvisualisierung (Fließbilder). Das System hingegen überwacht die Prozesse mit Sensoren. Wenn eine Abweichung erkannt worden ist, wird diese interpretiert, und entsprechende Handlungsschritte müssen eingeleitet

¹² VDI/VDE 3699 - Blatt 2 (2014): Prozessführung mit Bildschirmen - Grundlagen.

werden, die dann direkt per Eingriff durch Betätigen des Stellteils ausgeführt werden. Zum Abschluss werden die Maßnahmen überprüft. Falls diese den Normalbetrieb nicht hergestellt haben, wird der Ablauf iteriert. Darüber hinaus werden in der Norm VDI/VDE 3699 (Blatt 2)¹³ in einem weiteren Modell neben den Aufgaben, Tätigkeiten und Handlungen zusätzliche Ebenen beschrieben. So werden die globalen Aufgaben von der höchsten Ebene (Prozess führen) bis hin zur Muskelaktion, die im Krümmen eines Fingers bei der manuellen Eingabe auf unterster Ebene besteht, detailliert erläutert. Dazwischen werden die Tätigkeiten (das Überwachen, das Bedienen und die Diagnose), Handlungen (das Entdecken und das Interpretieren), Operationen (den Wert eintippen) und Bewegungen (die Hand zur Taste bewegen) als hierarchische Ebenen der Prozessführung dargestellt.

Im Gegensatz zu den Funktionstypen menschlicher Tätigkeiten nach Johannsen (1993) verdeutlicht das *Simple Model of Cognition* nach Hollnagel (1998), dass Aktivitäten wie Beobachtung, Interpretation, Planung und Handlung eng zueinander in Beziehung stehen. In der Forschungsarbeit von Komischke (2000) werden auf Basis einer Nutzungskontextanalyse funktionale Bausteine abgeleitet, die domänenübergreifende Kernarbeitsabläufe von Prozessführern unterstützen sollen. Die anlagenspezifischen Arbeitsabläufe werden in fünf Leitwarten der Fertigungs- und Verfahrenstechnik sowie der Energieverteilung identifiziert. Auf diesen Ergebnissen aufbauend, werden sechs branchenübergreifende Kernarbeitsabläufe extrahiert, und zwar *Systemnavigation*, *Meldungsmanagement*, *Auswertungen*, *Kommunikation*, *binäre Schaltungen* und *Schichtprotokolle*, die im Rahmen von Experteninterviews verifiziert worden sind. Anhand der branchenübergreifenden Kernarbeitsabläufe werden funktionale Bausteine abgeleitet, die anhand eines Prototyps evaluiert worden sind. Diese Bausteine werden von den Experten positiv bewertet.

Die beschriebenen Aufgaben von Johannsen (1993, 2008), VDI/VDE 3699 (Blatt 2)¹³ und Hollnagel (1998) zeigen zwar auf, dass sich domänenübergreifende Eigenschaften ableiten lassen. Diese sind aber in Bezug auf die spezifischen Tätigkeiten eines Operators nicht ausführlich beschrieben. Aufgrund der abstrakten Formulierung lassen sich konkrete Empfehlungen zur Gestaltung von Benutzungsschnittstellen schwer ableiten. Lediglich Komischke (2000) beschreibt die Arbeitsabläufe von Operatoren auf Handlungsebene spezifischer. Jedoch liegt die Analyse mehr als zehn Jahre zurück, und die untersuchten Leitwarten sind bereits zwischen 1986 und 1994 in Betrieb genommen worden. Ferner wird innerhalb der Forschungsarbeit die Interaktion mit der Benutzungsschnittstelle nicht explizit analysiert. Darüber hinaus werden nach der Klassifizierung von Johannsen (1993) ausschließlich Produktionsprozesse, aber nicht Informationsprozesse untersucht.

Somit können keine domänenübergreifenden Aussagen bezüglich der Tätigkeiten und Handlungen von Operatoren abgeleitet werden. Um auf den Operator zugeschnittene Benutzungsschnittstellen zu gestalten, müssen die Aufgaben und Tätigkeiten vor dem Hintergrund der Anforderungen in der Leitwarte neu untersucht werden. Somit bedarf es einer Analyse der Arbeitsumgebung von Operatoren, da kein tiefgreifendes Verständnis für Anforderungen und Aufgaben aus dem natürlichen Nutzungskontext für die Konzeptgestaltung herangezogen werden kann.

3.2 Nutzungskontextanalyse

Im folgenden Abschnitt wird die durchgeführte domänenübergreifende Nutzungskontextanalyse vorgestellt, um die Anforderungen an eine Benutzungsschnittstelle für Leitwarten zu evaluieren. Dabei werden die untersuchten Domänen, die Methoden zur Datenerhebung sowie der Ablauf der Untersuchung vor Ort erläutert. Die abschließenden Ergebnisse geben Antworten, wie die Arbeitsschritte ablaufen und welche Optimierungspotenziale direkt von den Experten identifiziert worden sind.

¹³ VDI/VDE 3699 - Blatt 2 (2014): Prozessführung mit Bildschirmen - Grundlagen.

3.2.1 Klassifizierung der untersuchten Domänen

Die untersuchten Domänen sind in Anlehnung an Johannsen (1993) klassifiziert worden. Dabei sind aus den Produktions- und Informationsprozessen repräsentative Domänen ausgewählt worden (siehe Abbildung 16), die im Rahmen der Nutzungskontextanalyse untersucht worden sind. Insgesamt sind sieben unterschiedliche Domänen analysiert worden. Innerhalb der Produktionsprozesse sind Leitwarten aus dem Kontext der energietechnischen Anlagen sowie von Rohstoffgewinnungssystemen untersucht worden.

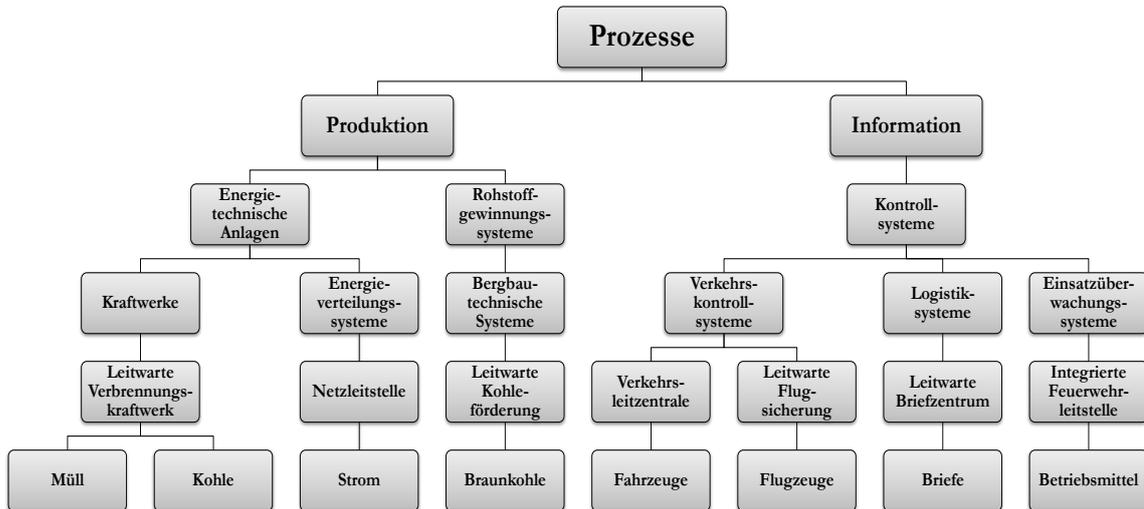


Abbildung 16 Klassifikation der untersuchten Domänen

Das Schaubild zeigt die sieben untersuchten Domänen innerhalb der Nutzungskontextanalyse anhand der zu überwachenden technischen Prozesse nach Johannsen (1993).

Im Bereich der Informationsprozesse sind es bewusst komplexe Kontrollsysteme wie die Verkehrsleitzentrale. Gerade im Bereich der Kontrollsysteme haben sich in den letzten Jahren die Informationsmengen stetig erhöht.

Stichprobe

Insgesamt konnten in zehn Leitwarten die Arbeitsumgebungen von Operatoren analysiert werden. In den Produktionsprozessen sind zum einen in der Kategorie der energietechnischen Anlagen die Arbeitsumgebung von Operatoren im Kraftwerk der Steinkohle- und Müllverbrennung sowie eine Netzleitstelle untersucht worden. Zum anderen hat innerhalb der Rohstoffgewinnungssysteme eine Evaluation in der Leitwarte zur Braunkohleförderung stattgefunden. In der Kategorie der Informationsprozesse sind im Kontext von Kontrollsystemen drei Verkehrsleitzentralen, eine Arbeitsumgebung in der Flugsicherung, eine Leitwarte in der Logistik von Briefsendungen und eine integrierte Feuerwehrleitstelle untersucht worden.

So konnten 13 Experteninterviews mit den Mitarbeitern der Leitwarten geführt werden. In den Domänen der Energieverteilssysteme und zweier Verkehrsleitzentralen konnten aufgrund der vorherrschenden Rahmenbedingungen keine Experteninterviews geführt werden. Hier sind die Operatoren zu stark in das aktuelle Prozessgeschehen eingebunden gewesen, was lediglich eine teilnehmende Beobachtung zugelassen hat. An den Experteninterviews haben 13 männliche Experten mit einem durchschnittlichen Alter von 47.38 Jahren ($SD = 5.92$) teilgenommen. Die Teilnehmer haben jeweils folgende Berufsausbildung: Betriebsschlosser, Feuerwehrmann, Fleischer, Dipl.-Ing. (FH) Flugsicherung, Industriemechaniker, Kfz-Mechaniker, Kraftwerksmeister, Kühlanlagenmonteur, Logistikfachmann (zwei Operatoren), Meister Nachrichtentechnik, Stahlbauschlosser und Verkäu-

fer. Die Leitwarten sind im Durchschnitt $M = 3.48$ ($SD = 3.26$) Jahre alt gewesen, die jüngste besuchte Leitwarte ist 2009, die älteste vor zehn Jahren (1999) in Betrieb genommen worden.

Erläuterung der Produktionsprozesse

Im Folgenden werden die untersuchten Leitwarten im Kontext der Kraftwerke, Energieverteilungssysteme und der bergbautechnischen Systeme beschrieben. Dabei werden die Eigenschaften der Prozesse erläutert und die am Prozess beteiligten Personen vorgestellt.

Kraftwerke – Von der Leitwarte werden zwei Heizkraftwerksblöcke mit Steinkohle betrieben. Die Blöcke können gleichzeitig Strom und Fernwärme erzeugen. Darüber hinaus überwachen die Operatoren einen Gas-Öl-Kombiblock und zwei Gasturbinen. Das Kraftwerk speist zum einen Strom sowohl mit 400 Kilovolt (kV) als auch mit 110 Kilovolt (kV) in das Hochspannungsnetz und zum anderen Fernwärme für Heizung und Warmwasser ein. Die Leitwarte ist ständig mit sieben Operatoren besetzt, wobei zwei die Schichtführung übernehmen. Für jeden der beiden Blöcke sind jeweils zwei Operatoren und ein Schichtführer verantwortlich. Zusätzlich gibt es einen Arbeitsplatz für die Überwachung der Prozesse mit Videokameras, z. B. für die Überwachung der Kohlebunker.

Der Schwerpunkt des zweiten Kraftwerks liegt neben der thermischen Müllbehandlung auch auf der Erzeugung von Fernwärme. Von der Leitwarte aus werden drei Müllkessel der Abfallverbrennungsanlage, drei Kohlekessel, drei Dampfturbinen und eine Gasturbinenanlage sowie der Gesamtmüllbunker zentral überwacht. Neben dem Schichtführerarbeitsplatz gibt es im Tagesbetrieb drei weitere Arbeitsplätze, die für die Kessel, Turbinen und die Umwelt verantwortlich sind. Ferner kümmert sich jeweils ein Operator um die Wasseraufbereitung für das Kraftwerk und die Fernwärmeverbindungen in anderen Knotenpunkten.

Energieverteilungssysteme – Von der Netzleitstelle wird eine Fläche von ca. 500 Quadratkilometern mit rund 10.000 Kilometer Leitungen, 15.000 Netzstationen und 200 Schaltanlagen des Spannungsnetzes (10, 20 und 30 Kilovolt (kV)) überwacht und gesteuert. Zur Hauptaufgabe der Operatoren gehört zum einen die Überwachung des Stromnetzes, um auf Störungen schnellstmöglich reagieren zu können, und zum anderen die Steuerung von Zu- und Abschaltungen der Anlagen im Netz, z. B. von Umspannwerken. Wird vom Operator eine Überlastung erkannt, wird durch eine ferngesteuerte Umschaltmaßnahme eingegriffen, um die Störung zu beheben. Der Eingriff erfolgt durch den Operator oder durch den Servicetechniker vor Ort, wobei dieser von der Leitwarte aus koordiniert wird. In der Leitwarte werden der Stromlastfluss und die Netzspannung ständig überwacht. Die Leitwarte ist in vier unterschiedliche Arbeitsplätze, die sich je nach ihren Verantwortungsbereichen wie der geografischen Lage der Netze oder der Art der Netze unterscheiden, aufgeteilt. Jeder Arbeitsplatz zur Überwachung des Stromnetzes ist mit zwei Operatoren besetzt. Die bis zu acht Operatoren arbeiten situativ an unterschiedlichen Aufgaben, bei Bedarf jedoch auch kooperativ.

Bergbautechnische Systeme – Von der Leitwarte aus wird die Förderung von Braunkohle, die in drei Flözen lagert und ca. 40 bis 200 Meter tief unter der Erdoberfläche liegt, überwacht und gesteuert. Zusätzlich zur Braunkohleförderung muss die Verarbeitung von jährlich ca. 140 Millionen Kubikmetern Abraum (Sand und Kies) koordiniert werden. Von der Leitwarte aus wird zum einen der Abbau von Braunkohle, der durch riesige Schaufelradbagger erfolgt, auf der Gewinnungsseite und zum anderen die Verkippsseite, auf der der Abraum verteilt wird, gesteuert. Die Operatoren überwachen insgesamt ca. 80 Kilometer lange Förderbänder mit 20 unterschiedlichen Förderwegen sowie 67 Bandstationssteuerungen und vier große Kohlebunker. Zu den Aufgaben der Operatoren zählt die Logistik der Materialströme, denn die Braunkohle kann in das direkt über Förderbänder verbundene Heizkraftwerk zu den Kohlebunkern oder zur Bahnbeladestationen befördert werden. In der untersuchten Leitwarte gibt es zum einen den Operator, der die Hauptverantwortung für die gesamte Betriebsüberwachung im Tagebau hat, und zum anderen einen Disponenten, der sich um die Kohleförderung kümmert.

Erläuterung der Informationsprozesse

In der zweiten Kategorie der Informationsprozesse sind im Rahmen der Arbeit Verkehrskontrollsysteme, Logistiksysteme und Einsatzleitsysteme untersucht worden, die im Folgenden erläutert werden.

Verkehrskontrollsysteme – Zunächst werden Verkehrsleitzentralen aus dem Bereich der Straßen- und Tunnelüberwachung betrachtet. Anschließend wird im Kontext der Luftfahrt die Arbeitsumgebung eines Operators im Bereich der Flugsicherung näher erläutert.

Zu den Aufgaben der untersuchten Verkehrsleitzentralen zählen die Überwachung der Autobahnen und der dazugehörigen Tunnel. In der Leitzentrale werden die aktuellen Verkehrsdaten von den Autobahnen und Tunneln durch unzählige Kamerabilder visualisiert. Die Verkehrsbeeinflussungsanlagen sowie deren Wechselverkehrszeichen und dynamische Wegweiser sind oft teil- oder vollautomatisiert. Manuelle Eingriffe durch den Operator sind nur im Bedarfsfall notwendig. Diese Eingriffe sind häufig bei der Seitenstreifenfreigabe bei hoher Verkehrsauslastung zu sehen. Hierbei versichert sich der Operator über Kamerabilder, ob die Seitenstreifen frei sind. Die Verkehrsbeeinflussungsanlagen warnen den Fahrzeugführer vor Störungen im Straßenverkehr oder vor Nebel und Nässe auf den Fahrspuren. Ferner werden bei Störungen im Verkehrsfluss durch Wechselweisungen entsprechende Alternativrouten ausgewiesen. Kommt es im Tunnel zu einem Unfall, werden Notfallprogramme wie Alarmierung des Rettungsdiensts entweder automatisch oder manuell vom Operator eingeleitet. Die Operatoren sind bei ihrer täglichen Arbeit ständig mit der Polizei oder der Straßenwacht in Kontakt, um entsprechende Verkehrsmanagementstrategien direkt zu kommunizieren. Jeweils zwei Operatoren und ein Schichtführer haben sich die Arbeitsumgebung in der Leitzentrale geteilt. Bei allen besuchten Leitzentralen ist in den verkehrsstarken Zeiten noch ein dritter Operator hinzugekommen. Die Zuständigkeitsbereiche sind über alle Leitzentralen hinweg nach geografischer Ausrichtung der Straßen aufgeteilt worden.

Die Arbeitsumgebung des Engineer on Duty (EoD) in der Flugsicherung ist direkt in der Mitte des Betriebsraums angeordnet, in dem die Fluglotsen die Radarsysteme an- und abfliegender Flugzeuge sowie Maschinen überwachen, die den deutschen Luftraum lediglich überqueren. Der Operator am EoD-Arbeitsplatz ist zentraler Ansprechpartner und Koordinator für die gesamte technische Infrastruktur, die vom Radar- und Koordinationslotsen für die Überwachung der Sektoren genutzt wird. Der EoD hat jedoch keinen direkten Kontakt zu den Fluglotsen. Die Fluglotsen melden technische Schwierigkeiten dem sog. Supervisor der Flugkontrolle. Dieser gibt die Störung an den EoD weiter. Der Operator fungiert als Schnittstelle zwischen dem Supervisor und der zentralen Betriebsführung. Der Supervisor ist für die inhaltliche Überwachung der Arbeit von Fluglotsen im Center verantwortlich. Die zentrale Betriebsführung ist die technische Leitstelle mit den Verantwortungsbe-reichen Netze, Sprachkommunikation, Navigation, Radar, Tower-Systeme und Facility-Management. Zu den Kernaufgaben des EoD zählt die Koordination aller Inbetriebhaltungsmaßnahmen der gesamten technischen Infrastruktur der Kontrollzentrale. Dabei fungiert ein einzelner Operator als Schnittstelle zwischen dem Supervisor, der technischen Betriebsführung sowie den technischen Anlagen anderer Flugsicherungsgesellschaften, z. B. der Bundeswehr.

Logistiksysteme – In der Leitwarte innerhalb des Briefzentrums werden bis zu 4.5 Millionen Briefsendungen pro Tag koordiniert. Im Briefzentrum werden die im Einzugsgebiet aufgegebenen Sendungen vorsortiert und dann entweder in das zuständige Briefzentrum weitergeleitet, oder die Briefsendungen verbleiben in der Anlage. Für die verbleibenden Sendungen wird im zweiten Sortiergang der eigene Nahbereich verarbeitet. Von den fünf Arbeitsplätzen inklusive Schichtleiter werden 15 Sortieranlagen mit einer Förderstrecke von ca. neun Kilometern überwacht. Zusätzlich werden im Hochregal bis zu 80.000 Briefbehälter verwaltet sowie das Hoflogistiksystem mit 48 LKW-Andockrampen. Die Leitwarte ist ständig mit mindestens vier Operatoren besetzt. Für die Koordi-

nation der Briefe von Hand an den Transportbändern ist ein Operator für den reibungslosen Ablauf verantwortlich. Ferner übernehmen zwei Operatoren die Beschaffung der Briefe und den Abtransport. Ein weiterer Operator ist für den sog. Materialfluss der Briefsortieranlagen zuständig. Er überwacht alle Briefsortierbänder auf eventuelle Störungen, wenn beispielsweise Briefe die Sortieranlagen verstopfen.

Einsatzleitsysteme – Bei der untersuchten Leitwarte handelt es sich um eine sog. integrierte Leitstelle. Feuerwehr, Rettungsdienst und Katastrophenschutz werden bei dieser Form unter einem Dach gemeinsam disponiert. Deshalb wird der Operator in dieser Domäne auch häufig als Disponent bezeichnet. Der Vorteil einer solchen Leitstelle ist die erheblich bessere Zusammenarbeit, da Informationen hierbei direkt, d. h. von Angesicht zu Angesicht, zwischen den Experten ausgetauscht werden können. Zur Hauptaufgabe der Operatoren zählen zum einen das Annehmen von eingehenden Notrufen mit Planung der verfügbaren Einsatzmittel und zum anderen die Überwachung der Alarmmeldungen. Die Alarmmeldungen stammen beispielsweise von Brandmeldeanlagen, die in großen Gebäuden verbaut werden. Darüber hinaus hat die Leitzentrale ständigen Kontakt mit den im Einsatz befindlichen Fahrzeugen (Betriebsmittel). Dabei erhält der Operator Rückmeldung über das geografische Informationssystem (GIS). Hierbei werden die Anfahrtswege zum Einsatz inklusive der Routenplanung sowie der jeweilige Standort der Betriebsmittel angezeigt. Den Operatoren steht bei Großereignissen, z. B. bei schweren Gewittern und Flutkatastrophen, ein zusätzlicher Raum zur Verfügung. Die eingehenden Notrufe werden gefiltert und direkt in den Raum weitergeleitet. In der besuchten Leitwarte nehmen drei Operatoren die Notrufe entgegen und teilen für die Eingriffe die entsprechenden notwendigen Betriebsmittel ein. Zusätzlich arbeiten in der Leitwarte zwei Operatoren, die den Eingriff verfolgen bzw. die koordinativen Aufgaben für den Einsatz der Betriebsmittel übernehmen.

3.2.2 Methoden zur Datenerhebung und Ablauf der Untersuchung

Die Erhebung hat im Regelbetrieb der Leitwarten stattgefunden, um möglichst valide Daten ableiten zu können. Dabei hat das Hauptaugenmerk der Untersuchung auf der Analyse von alltäglichen Prozesssituationen gelegen. Es ist somit nicht Ziel der Analyse gewesen, explizit nach extremen Situationen wie Störfällen zu fragen („Was würden Sie tun, wenn ... eintritt?“).

Methodik

Für die Gestaltung von Benutzungsschnittstellen im Kontext von sicherheitskritischen Systemen haben Rasmussen (1986) und Vicente (1999) das *Cognitive Work Analysis (CWA)*-Framework entwickelt. Im Gegensatz zu traditionellen Ansätzen wie dem *User-Centered Design* wird beim Ansatz der *CWA* nicht aufgabenorientiert (normative Analyse), sondern systemorientiert (formative Analyse) vorgegangen. D. h., das System steht im Mittelpunkt, aber nicht die Tätigkeiten, die ein Operator im Rahmen seiner Aufgaben in der Leitwarte ausführt (Sanderson, 2003). Ziel des Frameworks ist es, eine strukturierte Vorgehensweise anzubieten, die es ermöglicht, alle nötigen Dimensionen eines technischen Systems zu analysieren, diese zu modellieren und somit Verständnis für die Domäne zu entwickeln (Sanderson, 2003). Die *CWA* umfasst fünf Phasen (*Work Domain Analysis*, *Control Task Analysis*, *Strategies Analysis*, *Social-Organizational Analysis* und *Worker Competencies Analysis*) und legt zugrunde, dass eine Vielzahl von unvorhergesehenen Situationen bei großen komplexen Systemen auftreten kann. Hierbei sei der Befragte meist nicht in der Lage, in Sonderfällen die anfallenden Aufgaben genau zu spezifizieren. Abbildung 17 zeigt die fünf Phasen der *CWA* die folgend erläutert werden.

In der *Work Domain Analysis* wird die gesamte Arbeitsumgebung des Operators untersucht. Im Fokus der Betrachtung stehen hierbei vor allem die physikalischen Aspekte des Gesamtsystems der Anlage. In der nächsten Phase, der *Control Task Analysis*, werden die Aufgaben identifiziert, die

einen reibungslosen Normalbetrieb des Prozesses gewährleisten. Es geht nun nicht mehr um die Beschreibung des Systems, vielmehr werden jene Aufgaben untersucht, die mit dem System ausgeführt werden müssen. Erst im Zuge der *Strategies Analysis* wird genauer untersucht, wie eine zuvor identifizierte Kontrollaufgabe ausgeführt wird, um den Prozess im Gleichgewicht zu halten, d. h., eine normale Betriebssituation sicherzustellen. In der *Social-Organizational Analysis* werden die Arbeitsteilung und die Struktur der Verantwortungsbereiche von Operatoren im Kontext ihrer Arbeit untersucht. Hierbei wird verstärkt die verbale, aber auch die nonverbale Kommunikation im Kontext der Zusammenarbeit beobachtet. Ziel ist es, neben den physikalischen und zweckmäßigen Aspekten auch eine Vorstellung zu bekommen, wie die Operatoren zusammenarbeiten. Abschließend wird in der *Worker Competencies Analysis* auf jeden einzelnen Operator explizit eingegangen. Es werden die kognitiven Anforderungen analysiert, die ein Operator benötigt, um die Aufgaben effizient und effektiv ausführen zu können.

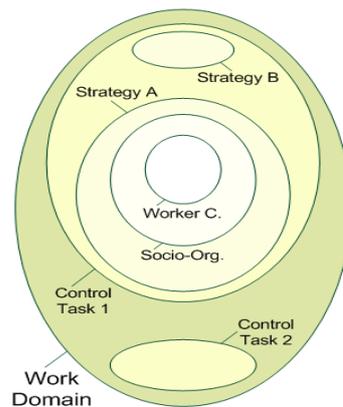


Abbildung 17 Die fünf Phasen der Cognitive Work Analysis

Die Cognitive Work Analysis (CWA) bildet den strukturellen Rahmen für die Nutzungskontextanalyse.¹⁴

Bei der CWA-Methode wird eine Menge an Ressourcen benötigt, da das zu untersuchende System bis auf die kleinste Detailebene analysiert werden muss. Für die Durchführung dieses Ansatzes muss zum einen über mehrere Tage hinweg in jeder Phase ein Experte zur Verfügung stehen und zum anderen der Zugang zur Leitwarte gewährleistet sein.

Eine gegensätzliche Herangehensweise in der Analyse wird beim ethnografischen Ansatz *Contextual Design* verfolgt. Im *Contextual Design* von Beyer und Holtzblatt (1998) werden in der ersten Phase (*Contextual Inquiry*) empirische Daten durch Beobachtung und Befragung im natürlichen Arbeitskontext vor Ort erhoben (*Contextual Interview*). Der Forscher sieht sich als Lehrling im Arbeitskontext und schaut dem Lehrer (Operator) über die Schulter. Auch dieser Ansatz kann nur beschränkt auf den Fokus der vorliegenden Arbeit angewandt werden, denn im Vorfeld der *Contextual Inquiry* ist nicht vorgesehen, sich mit der Domäne auseinanderzusetzen. Ohne entsprechendes Vorwissen ist es jedoch schwierig, die komplexen Prozesse vor Ort zu verstehen. Der angesetzte Zeitrahmen für die *Contextual Interviews* von zwei bis drei Stunden ist zu gering, um komplexe Systeme zu analysieren. Der Ansatz des *Contextual Designs* ist nicht speziell für den Kontext von komplexen Systemen entwickelt worden. Er bietet aber dennoch Methoden und Werkzeuge, die in der Praxis eingesetzt werden können. Die CWA kann den Forscher für komplexe Systemzusammenhänge sensibilisieren. D. h., die Nutzungskontextanalyse sollte sich nicht nur auf die Aufgaben beziehen. Vielmehr muss das System ganzheitlich betrachtet werden.

Im Fokus der vorliegenden Arbeit steht, die Arbeitsumgebung von Operatoren ganzheitlich zu gestalten, um diese bei ihren alltäglichen Prozesstätigkeiten zu unterstützen. Deshalb ist zur Erhe-

¹⁴ <http://www.cel.mie.utoronto.ca/research/frameworks/cwa.htm>, zuletzt aufgerufen am 22.03.2014.

bung des Nutzungskontexts eine Auswahl aus Aufgaben- und Systemorientierung getroffen worden, ein Methodenmix aus *CWA* und *Contextual Design*. Die *CWA* bildet den theoretischen Rahmen. Die Anwendung der Methode bedarf jedoch einer intensiven Auseinandersetzung mit dem System, ohne konkret auf die Tätigkeiten der einzelnen Operatoren einzugehen. Die *CWA* bietet aber Hilfestellung zum strukturierten Vorgehen bei der Analyse von komplexen Systemen wie der Leitwarte, da sie eine ganzheitliche Betrachtung des Systems beinhaltet. Zur direkten Datenerhebung innerhalb der Phasen der *CWA* sind die Instrumente aus dem *Contextual Design* bestimmt worden, die im Folgenden erläutert werden.

Teilnehmende Beobachtung – Im Rahmen der teilnehmenden Beobachtung in der Analyse vor Ort hat sich der Forscher nicht nur in rein beobachtender Position befunden, sondern hat selbst am Geschehen teilgenommen. Hierbei spielen sowohl objektive Faktoren, z. B. einzelne Schritte bei der Ausführung einer Tätigkeit, als auch subjektive und psychologische Kriterien, z. B. Bewertung eines bestimmten Teilsystems und Denkprozesse, eine Rolle. Der Operator ist daher auch dazu aufgefordert worden, *laut zu denken* (*Thinking Aloud-Methode*), d. h., über seine innerlich ablaufenden kognitiven Prozesse ständig zu reflektieren (Someren, Barnard & Sandberg, 1994). Im Rahmen der Evaluation sind die teilnehmenden Beobachtungen anhand eines Beobachtungsleitfadens ausgeführt worden, um so Vergleichbarkeit über die Domänen hinweg zu schaffen.

Experteninterview – Die Expertenbefragung ist in der Form eines halbstandardisierten Interviews geführt worden. Die Fragen des Interviews sind in Anlehnung an das Vorgehen von Helfferich (2005) strukturiert worden. Dabei werden die Interviewfragen in drei Gruppen gegliedert. (1) Leitfrage: Die erste Frage ist sehr offen formuliert worden, um so die Erzählaufforderung bzw. den Stimulus zu setzen. (2) Aufrechterhaltungsfrage: Hier wird kein neues Thema vorgegeben, sondern der Erzählfluss aufrechterhalten. (3) Konkrete Nachfragen: Hier werden inhaltliche Nachfragen gestellt, die während des Interviews noch nicht angesprochen worden sind.

Fragebogen – Im Rahmen der Analyse ist ein standardisiertes Fragebogeninstrument eingesetzt worden, mit dessen Hilfe quantitative Daten über die Leitwarte und die darin verankerten Arbeitsplätze erhoben werden konnten. Neben dem halbstandardisierten Fragebogen, der von den Experten in der Leitwarte bearbeitet worden ist, ist das Instrument auch bei den Versuchsleitern eingesetzt worden, um beispielsweise die Anzahl und den Verwendungszweck von Ein- und Ausgabegeräten sowie Kommunikationsgeräten zu messen.

Untersuchungsablauf

Die Untersuchung vor Ort ist über alle Domänen hinweg in standardisierter Form ausgeführt worden. Insgesamt sind die unterschiedlichen Domänen zwischen sechs und acht Stunden evaluiert worden. Zwei Forscher haben wechselseitig die Rolle des Versuchsleiters und die des Protokollanten übernommen. Diese Vorgehensweise soll nach Rosenthal und Rosnow (2009) Versuchsleitereffekte minimieren.

Abbildung 18 verdeutlicht den Versuchsablauf. Ziel der ersten beiden Untersuchungsphasen ist es gewesen, generische, d. h. arbeitsplatzübergreifende Einblicke zu bekommen. Aus diesem Grund hat durch die Experten eine Systemeinweisung stattgefunden. Außerdem sind teilnehmende Beobachtungen durchgeführt worden. Die erste dient dazu, einen Einblick in die Arbeitsweisen, Kommunikationsstrukturen und die notwendigen Schritte am Arbeitsplatz zu erhalten. Dabei haben die Zusammenarbeit der Operatoren und das Geschehen in der Leitwarte insgesamt im Vordergrund gestanden. Im Anschluss sind die Mitarbeiter mit einem halbstandardisierten Fragebogen zu demographischen Kriterien und selbstberichteter Computeraffinität, zur Arbeitsorganisation und zur Leitwarte allgemein befragt worden. Eine zweite teilnehmende Beobachtung hat zum Zweck, die bisherigen Beobachtungen an besonders interessanten Arbeitsplätzen zu vertiefen. In dieser Phase sind die Teilnehmer dazu angehalten worden, *laut zu denken*. Um einen Vergleich über die

Domänen hinweg auch auf der Basis quantitativer Daten (z. B. Art und Anzahl von Geräten) gewährleisten zu können, ist zum Abschluss der teilnehmenden Beobachtung ein standardisierter Fragebogen eingesetzt worden, der von beiden Versuchsleitern bearbeitet worden ist, um so die Interrater-Reliabilität der Daten sicherzustellen. Ein weiteres halbstrukturiertes Interview hat die Untersuchung abgeschlossen. Hierbei haben die Experten die Möglichkeit erhalten, Vor- und Nachteile ihrer derzeitigen Arbeitsumgebung zu diskutieren, neue Interaktionstechnologien und deren Einsatz zu erörtern und Wünsche zu formulieren.



Abbildung 18 Ablauf der Untersuchung vor Ort

Die Untersuchung ist in fünf unterschiedliche Phasen gegliedert und dauert zwischen sechs und acht Stunden (Schwarz, Kehr, et al., 2010).

Die Interviews sind mittels Tonaufnahmen aufgezeichnet worden. Fotoaufnahmen sind während der gesamten Durchführungsphase erstellt worden. Von Videoaufnahmen ist dagegen abgesehen worden, da die Kamera ständig hätte nachgeführt werden müssen und so die Operatoren unnötig von ihrem Arbeitskontext abgelenkt gewesen wären.

3.2.3 Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse, basierend auf den Daten der teilnehmenden Beobachtungen und der teilstrukturierten Interviews, vorgestellt. Die Untersuchungsergebnisse werden anhand der fünf Analysephasen der CWA gegliedert (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2 Gliederung der Fragestellungen und die eingesetzten Methoden

Phasen der CWA	Fragestellung	Methoden
Work Domain Analysis	Wie sieht die ganzheitliche Arbeitsumgebung von Operatoren aus?	Experteninterview Teilnehmende Beobachtung Standardisierter Fragebogen
Control Task Analysis	Welche Hauptaufgaben und Tätigkeiten werden von den Operatoren bearbeitet?	Teilnehmende Beobachtung Standardisierter Fragebogen
Strategies Analysis	Wie werden die Hauptaufgaben und Tätigkeiten von den Operatoren bearbeitet?	Teilnehmende Beobachtung Standardisierter Fragebogen
Social-Organizational Analysis	Wie führen die Operatoren die soziale Interaktion und Kommunikation durch?	Teilnehmende Beobachtung Standardisierter Fragebogen
Worker Competencies Analysis	Wie kann die tägliche Arbeit von Operatoren unterstützt werden?	Experteninterviews Standardisierter Fragebogen

Work Domain Analysis

Im Zuge dieser Phase wird bei der Auswertung der Untersuchung der Ergebnisse keine Nachmodellierung des gesamten technischen Systems mit hohem Detailgrad (Subsysteme) von Funktionen und Prozessen, wie von Vicente (1999) vorgeschlagen, vorgenommen. Die Analyse bezieht sich vornehmlich auf die ganzheitliche Betrachtung der direkten Arbeitsumgebung von Operatoren. Die Präsentation der Ergebnisse erfolgt anhand einer Abstraktionshierarchie, die auch von Rasmussen (1986) und Johannsen (1993) zur technischen Systembeschreibung herangezogen worden ist. Auf der Basis einer umfassenden Analyse im Rahmen der Prozessüberwachung leitet Rasmussen (1996) eine Abstraktionshierarchie zur Beschreibung eines technischen Systems ab. Die verschiedenen Ebenen liefern konkrete Hinweise, wie ein komplexes technisches System strukturiert werden kann.

Dabei wird nach Komponenten der *physikalischen Form* auf der untersten Ebene, Funktionen aufsteigend (*physikalische, verallgemeinerte* und *abstrakte Funktion*) sowie dem *funktionalen Zweck* auf der obersten Ebene unterschieden. In der vorliegenden Arbeit sind die Ebenen der *verallgemeinerten* und der *physikalischen Funktion* auf Funktionen, die die Maschine und der Operator ausführen, angepasst worden. Somit besteht die Struktur aus einer Abstraktionshierarchie von fünf Ebenen: *funktionaler Zweck, abstrakte Funktion, verallgemeinerte Funktionen von Maschine und Operator* und *physische Artefakte*. Tabelle 3 zeigt, dass es viele Gemeinsamkeiten in den unterschiedlichen Ebenen gibt.

Tabelle 3 Zusammenfassung der Ergebnisse der Work Domain Analysis

	Kraftwerke		Energieverteilungssysteme	Bergbautechnische Systeme	Verkehrskontrollsysteme		Logistiksysteme	Einsatzüberwachungssysteme
	Müll	Kohle	Strom	Braunkohle	Fahrzeuge	Flugzeuge	Briefe	Betriebsmittel
Funktionaler Zweck	Überwachung und Steuerung der Energieerzeugung		Überwachung und Steuerung der Energieverteilung	Überwachung und Steuerung der Materialgewinnung	Überwachung und Steuerung des Verkehrsflusses		Überwachung und Steuerung des Materialflusses	Überwachung und Steuerung von Betriebsmitteln
Abstrakte Funktionen	<p style="text-align: center;">Effektive Prozessführung</p> <p><i>Sichere Prozessführung für Mensch und Umwelt</i></p> <p style="text-align: center;">Effiziente Prozessführung</p> <p style="text-align: right;">Prozessoptimierung (Kontinuierlicher Verbesserungsprozess)</p>							
Verallgemeinerte Funktionen der Maschine	<p style="text-align: right;">Interpretation der Eingaben von Operatoren</p> <p style="text-align: center;">Auslösung von Alarmen</p> <p><i>Herstellung von normalem Prozesszustand durch Automation</i></p> <p style="text-align: center;">Simulation</p> <p style="text-align: center;">Überwachung durch Sensorik</p> <p style="text-align: center;">Prozessvisualisierung (z. B. geografische Karten, Fließbilder, Prozessvariablen)</p> <p style="text-align: center;">Berechnung von Kennlinien</p> <p style="text-align: right;">Meldungen</p> <p style="text-align: center;">Aufzeichnung von Messungen</p>							
Verallgemeinerte Funktionen des Operators	<p style="text-align: center;">Identifikation von Abweichungen</p> <p style="text-align: center;">Beobachtung der Prozessvisualisierung</p> <p><i>Überwachung, Diagnose, Manipulation und Dokumentation</i></p> <p style="text-align: center;">Planung</p> <p style="text-align: center;">Manipulation von Prozessvariablen</p> <p style="text-align: center;">Auswertung von Messergebnissen</p> <p style="text-align: center;">Kollaboration</p> <p style="text-align: center;">Erstellung von Notizen</p> <p style="text-align: center;">Kooperation</p> <p style="text-align: center;">Interpretation von Werten</p> <p style="text-align: center;">Erstellung von Schichtbucheinträgen</p> <p style="text-align: center;">Kommunikation</p> <p style="text-align: center;">Alarmmanagement</p> <p style="text-align: center;">Quittieren von Meldungen</p> <p style="text-align: center;">Erstellung von Diagnosen</p> <p style="text-align: center;">Interaktion</p> <p style="text-align: center;">Navigation</p>							
Physische Artefakte	<p><i>Visualisierungs- und Interaktionsgeräte</i></p> <p style="text-align: center;">Videobildschirme</p> <p style="text-align: center;">Telefone</p> <p style="text-align: center;">Wanddisplays (Public Space)</p> <p style="text-align: center;">Drucker</p> <p style="text-align: center;">Mäuse</p> <p style="text-align: center;">Schichtbücher</p> <p style="text-align: center;">Joysticks</p> <p style="text-align: center;">Notizzettel</p> <p style="text-align: center;">Funkgeräte</p> <p style="text-align: center;">Geografische Karten und Anlagenpläne</p> <p style="text-align: center;">Tastaturen</p> <p style="text-align: center;">Handbücher (Dokumentation)</p> <p style="text-align: center;">Bildschirme (Private Space)</p>							

Lediglich auf der ersten Ebene (*funktionaler Zweck*), die das Gesamtziel des Systems beschreibt, sind domänenspezifische Unterschiede bezüglich der objektbezogenen Überwachung und Steuerung in den technischen Systemklassen identifiziert worden. Aufgrund der hohen Anforderungen an die Wirtschaftlichkeit auf der darunterliegenden Ebene (*abstrakte Funktionen*) wird über alle Domänen hinweg das Ziel einer effektiven und effizienten Prozessführung verfolgt. Dabei steht die Sicherheit für Mensch und Umwelt im Vordergrund. Aus diesem Grund wird nach Aussagen der Operatoren für die ständige Optimierung ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess vollzogen. Neben der Automatisierung von (Teil)Prozessen, die autonom von Rechnern und Sensoren gesteuert werden, ist für den Operator das Sichtbarmachen der technischen Prozesse durch die Visualisierungen auf unterschiedlichen Arbeitsebenen (*Public Space* und *Private Space*) entscheidend. Ein zentraler Aspekt

in der Ebene der *verallgemeinerten Funktion der Maschine* ist neben der Automation die Visualisierung und die somit fortwährend steigende Virtualisierung des realen Prozessgeschehens. Die Prozessvisualisierung ist für Operatoren eine wichtige Überführung von Daten, Objekten und Zusammenhängen von Informationen in eine bildhafte Darstellung. Die Prozessvisualisierung in Form von geografisch aufbereiteten Informationen (Energieverteil-, Verkehrskontroll- und Einsatzüberwachungssysteme) oder in Form von Fließbildern (Kraftwerke, bergbautechnische Systeme und Logistiksysteme) ist für den Operator ein wichtiges Hilfsmittel. Nach Aussagen der Operatoren nimmt die Bedeutung der Prozessvisualisierung aufgrund des hohen Automatisierungsgrads und der damit einhergehenden steigenden Anzahl an Informationen zu. Die Analyse bestätigt, dass es sich bei den *verallgemeinerten Funktionen von Operatoren* um die von Johannsen (2008) und der VDI/VDE 3699 (Blatt 2)¹⁵ definierten Primärtätigkeiten Überwachung, Diagnose und Manipulation handelt. Diese entsprechen auch dem *Simple Model of Cognition* nach Hollnagel (1998). Aufgrund der Wichtigkeit der unterschiedlichen Dokumentationsformen wie des Schichtbuchs wird zusätzlich auf Basis der Untersuchung das Erfassen von Dokumenten als Primärtätigkeit bewertet. Diese Tätigkeit ist in allen Domänen essenziell. So müssen beispielsweise die wichtigen Vorkommnisse der Schicht in jeder der betrachteten Domänen protokolliert werden. Eine detaillierte Beschreibung der Abläufe von Tätigkeiten, die im Rahmen der Arbeit abgeleitet worden sind, folgt im nächsten Abschnitt innerhalb der *Control Task Analysis*.

In der letzten Ebene sind die *physischen Artefakte* in Arbeitsumgebungen betrachtet worden. So ist bei der Untersuchung der Arbeitsplätze einzelner Operatoren die Anzahl der Geräte am Arbeitsplatz ermittelt worden, die für die tägliche Arbeit genutzt werden. Abbildung 19 zeigt exemplarisch einen Überblick über die persönliche Arbeitsumgebung des Operators.

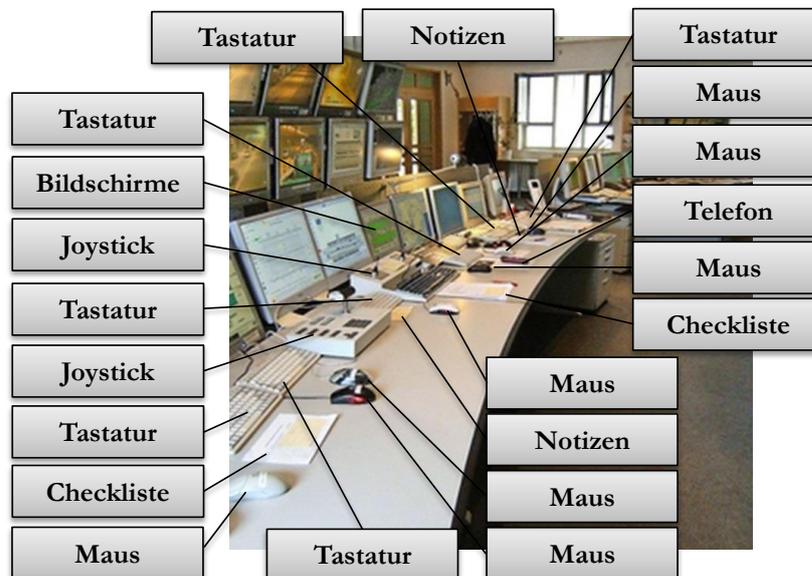


Abbildung 19 Arbeitsplatz eines Operators (Private Space)

In komplexen Situationen kann die große Zahl an Geräten mit unterschiedlichen Bedienkonzepten und Einsatzzwecken leicht zu Verwechslungen führen.¹⁶

Die unzähligen digitalen und analogen Kommunikationsmöglichkeiten erfordern eine entsprechend hohe Anzahl an Geräten – bis zu sieben Kommunikationsgeräte (Funkgeräte, Handys und Telefone) existieren in einer Arbeitsumgebung. Hinzu kommen Eingabegeräte (Mäuse, Tastaturen, Joysticks usw.) und Ausgabegeräte (Wanddisplays, Bildschirme, Videomonitore usw.), so dass ein Ope-

¹⁵ VDI/VDE 3699 - Blatt 2 (2014): Prozessführung mit Bildschirmen - Grundlagen.

¹⁶ http://www.mittelbayerische.de/imgserver/_thumbnails/images/34/2261500/2261453/300x180.jpg, zuletzt aufgerufen am 28.04.2014.

rator bei seiner täglichen Arbeit durchschnittlich $M = 18.67$ ($SD = 8.69$) Geräte, im Extremfall bis zu 34 Geräte beobachten und steuern muss (siehe Abbildung 20). Darüber hinaus finden sich unzählige Notizzettel, Karten oder Anlagenpläne, Schicht- oder Handbücher auf der Arbeitsfläche des Operators.

Allgegenwärtig sind Maus- und Tastatureingabe in der Prozessführung. So zeigt sich häufig, dass für jeden Bildschirm (durchschnittlich neun Geräte) im *Private Space* je eine Maus und Tastatur eingesetzt sind. Ist dies nicht der Fall, werden mindestens je zwei traditionelle Eingabegeräte wie Maus und Tastatur verwendet, um mehrere Bildschirme zu steuern. Nach Aussagen der Experten wird auf dem entfernten Wanddisplay sehr selten interagiert. Grund hierfür sind die nicht auf die Aufgaben abgestimmten Interaktionsgeräte wie Maus und Tastatur.

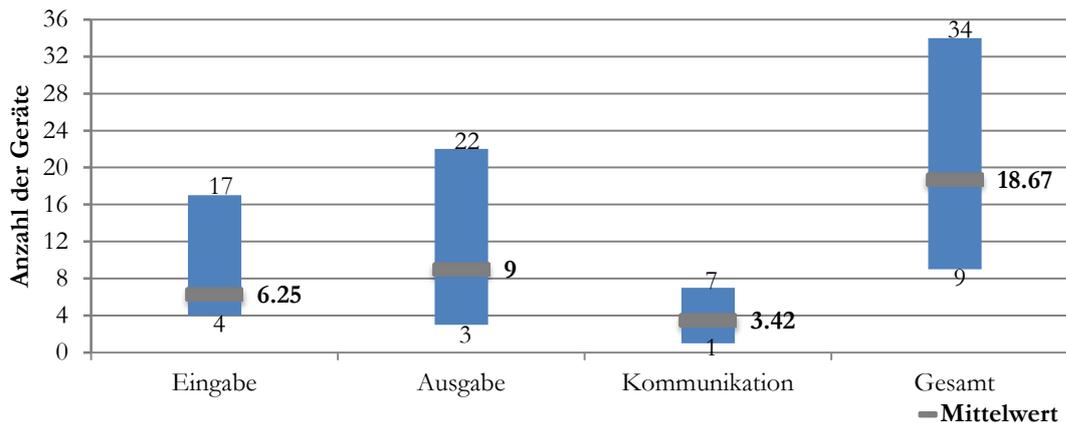


Abbildung 20 Anzahl der Geräte in der Arbeitsumgebung

Geräte zur Eingabe, Ausgabe und Kommunikation in der Arbeitsumgebung, die vom Operator bei der täglichen Arbeit genutzt werden (Schwarz et al., 2010)

Die vorherrschende Situation in der Arbeitsumgebung zeigt, dass die Operatoren bereits auf der *sensomotorischen Ebene*, dem *fertigkeitsbasierten Handeln* nach dem SRK-Modell (Rasmussen, 1983), nicht ausreichend unterstützt werden (siehe Abschnitt 2.2.1). Aufgrund der hohen Anzahl an Interaktionsgeräten, die nicht an die Aufgaben und Tätigkeiten der Operatoren angepasst sind, kommt es auch auf der nächsthöheren Ebene des *regelbasierten* und *wissensbasierten Verhaltens* zu Verzögerungen bei Problemlösetätigkeiten. Nach Aussagen der Operatoren bedarf es hier einer Optimierung, um schneller reagieren zu können.

Control Task Analysis

Die domänenübergreifende Betrachtung der Leitwarten zeigt, dass viele Gemeinsamkeiten in den Tätigkeits- und Aufgabenprofilen im Rahmen von alltäglichen Prozesssituationen bestehen. In Anlehnung an die Fahraufgaben im Kontext der Fahrzeugführung werden die Aufgaben in dieser Arbeit in Primär-, Sekundär- und Tertiäraufgaben klassifiziert (Bubb, 2003). Dabei umfasst die primäre Aufgabe alle Tätigkeiten, die sich direkt mit der Prozessführung befassen, z. B. die Eingabe von Soll- oder Grenzwerten. Neben der Ausführung der Primäraufgaben haben die Operatoren während der Untersuchung zum Teil noch weitere Aufgaben erledigt. Die Sekundäraufgaben wie der kontinuierliche Verbesserungsprozess fallen zwar im Rahmen der Prozessführung an, zählen aber nicht zu den Hauptaufgaben eines Operators. Tertiäre Aufgaben stehen nicht im Zusammenhang mit dem aktuellen Prozess. Sie umfassen Nebentätigkeiten wie das Durcharbeiten von Schulungsunterlagen. In der vorliegenden Arbeit liegt das Hauptaugenmerk auf der Unterstützung von Primäraufgaben in alltäglichen Prozesssituationen der Operatoren. Die Unterstützung der identifizierten Sekundär- und Tertiäraufgaben wird in den ausgearbeiteten Konzepten nicht weiter verfolgt.

Tabelle 4 zeigt Beispiele, die bei der Analyse erfasst worden sind.

Tabelle 4 **Beispiele der Sekundär- und Tertiäraufgaben**

Sekundäraufgaben	Tertiäraufgaben
<ul style="list-style-type: none"> • Aufgaben im Umfeld des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses, z. B. die Reduzierung von Meldungen durch die Verbesserung des Alarmmanagements • Auswertungen des technischen Prozesses anhand Kurven über den zeitlichen Verlauf und Anlegen von Statistiken 	<ul style="list-style-type: none"> • Allgemeine teambezogene Organisation • Absprachen im Kontext der Schicht- und Urlaubsplanung • Schulungen im Umfeld des technischen Prozesses

Die identifizierten Aufgaben und Tätigkeiten der unterschiedlichen Domänen werden anhand der sequenziellen Abläufe von Informationsverarbeitungsprozessen (Rasmussen, 1984) beschrieben (siehe Abschnitt 2.2.1). Anhand der Verkehrsleitzentrale werden die Kernaufgaben der Operatoren exemplarisch dargestellt (siehe Abbildung 21). Ein Überblick über die Informationsverarbeitungstätigkeiten anderer Domänen befindet sich im Anhang A.

Im Kontext der Verkehrsleitzentrale ist der zu überwachende und zu steuernde Prozess die Nutzung eines Straßennetzes. Hier verfolgt der Operator das Ziel, den Verkehrsfluss im topologischen Straßennetz aufrechtzuerhalten. Die Prozessvariablen entsprechen in dieser Domäne beispielsweise dem Verkehrsaufkommen auf der jeweiligen Fahrbahn, Kamerabildern oder veränderbaren Straßenschildern. Das Straßennetz wird auf einem großen vertikalen Wanddisplay, das als öffentliches Display (*Public Space*) fungiert, dargestellt. Somit wird für die Operatoren in der Leitzentrale ein gemeinsames Prozessverständnis gefördert. Eine farbliche Kodierung des Straßennetzes verdeutlicht das Verkehrsaufkommen. Eine grüne Markierung bedeutet ein normales Verkehrsaufkommen, eine rote Markierung der Fahrspuren Stau.

Der Operator entdeckt den Handlungsbedarf entweder in Form einer *Aktivierung* über eine Abweichung in der Prozessvisualisierung oder alternativ durch einen eingehenden Telefonanruf beispielsweise durch die Polizei (siehe Abbildung 21, links unten). Beide Szenarien sind während der Analyse vorgekommen. Der Operator hat durch die Alarmierung erkannt, dass in seinem Überwachungskorridor ein Problem (*Alarmmeldung*) aufgetreten ist. Hat der Operator während seiner *Beobachtung* eine Veränderung in der Prozessvisualisierung auf dem großen Wanddisplay (*Public Space*) oder auf den Bildschirmen direkt am Arbeitsplatz (*Privat Space*) festgestellt, so muss er im nächsten Schritt schnellstmöglich die Ursache identifizieren. Dazu bedarf es einer *Menge* an Prozessinformationen. Das Abrufen der einzelnen Prozessvariablen im Rahmen der Diagnose zur *Identifikation* der Problemstellung ist entweder auf dem Wanddisplay oder direkt am Arbeitsplatz geschehen, wobei im *Privat Space* detailliert analysiert worden ist. Auf der Basis des *Systemzustands* und der damit verbundenen diagnostizierten Ursache hat der Operator entsprechende Gegenmaßnahmen eingeleitet, um den Stau aufzulösen und einen geregelten Verkehrsfluss wiederherzustellen.

Im Zuge der Einleitung der Gegenmaßnahmen musste deren Wirkungsweise auf das gesamte System *interpretiert* werden, d. h. bei fließendem Verkehr, ohne die Personen in der Umgebung des Pannenfahrzeugs zu gefährden. Aufgrund der *Vielfältigkeit* der komplexen Zusammenhänge haben sich die Operatoren mit Kollegen in der Leitwarte abgestimmt, um die richtigen Maßnahmen treffen zu können. Letztlich sind die Maßnahmen *bewertet* worden, um zu gewährleisten, dass die Sicherheit sowohl für die Beteiligten als auch die anderen Verkehrsteilnehmer durch den Eingriff gegeben ist. Im vorliegenden Fall ist lediglich das Verkehrsaufkommen, bedingt durch ein Pannenfahrzeug, die Ursache des Staus gewesen. Oberstes *Ziel* für den Operator ist es gewesen, den Stau schnellstmöglich aufzulösen. Der *Zielzustand* ist erreicht, wenn sich der Stau aufgelöst hat.

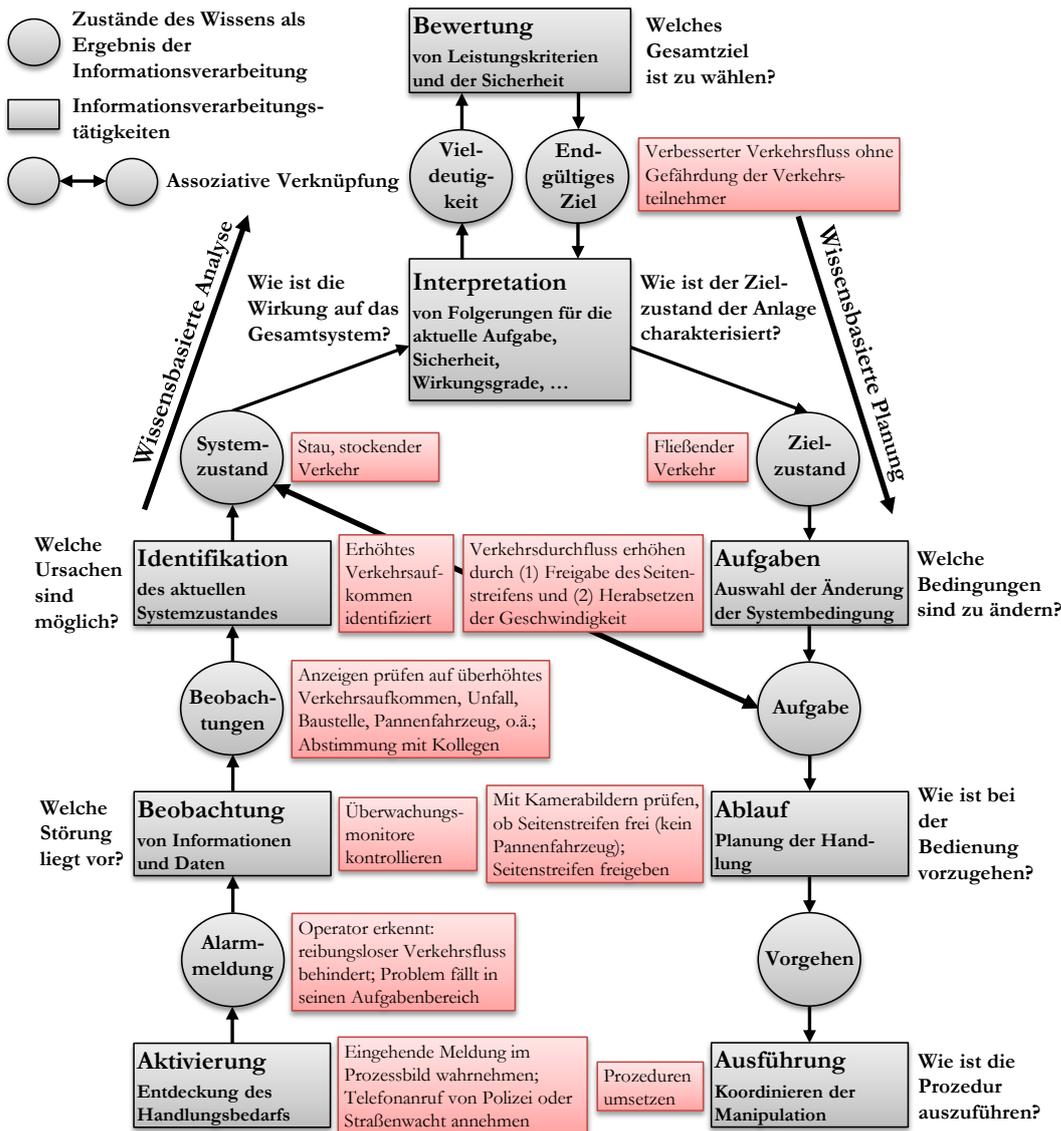


Abbildung 21 Exemplarischer Ablauf der Primärtätigkeiten in der Verkehrsleitzentrale

Vereinfachtes Modell der sequenziellen Abläufe von Informationsverarbeitungsprozessen nach Rasmussen (1984), Beschreibung eines Teils des Aufgabenspektrums eines Operators am Beispiel der Verkehrsleitzentrale

Die *Aufgaben* für das Ziel *fließender Verkehr* sind mittels unterschiedlicher Handlungsalternativen bearbeitet worden. So haben die Operatoren zusätzlich zur herabgesetzten Geschwindigkeit, die automatisiert über die Verkehrsbeeinflussungsanlagen angezeigt worden ist, manuell eingegriffen. Dabei ist die Geschwindigkeit in den vorgelagerten Streckenabschnitten herabgesetzt worden, um weitere Fahrzeuge, die auf das Stauende treffen, in ihrer Ankunft zu verzögern.

In zwei Bundesländern hat es ein zusätzliches *Vorgehen* gegeben, um den Verkehr zum Fließen zu bringen. Die Operatoren konnten den Seitenstreifen freigeben, um einen stärkeren Verkehrsfluss zu erreichen. Das beinhaltet jedoch eine umfassende Streckenprüfung mit Hilfe von Kameras, um herauszufinden, ob der Seitenstreifen eventuell durch ein weiteres Pannenfahrzeug blockiert ist. In diesem Arbeitsschritt mussten die betroffenen Kameras einzeln ausgewählt und mittels Joystick bedient werden (*Ausführung*). Mit diesem Eingabegerät sind die Kameras nacheinander in die gewünschte Position geschwenkt worden. Die Auswahl der Kameras erfolgt sukzessiv bis zur kompletten Überprüfung des Streckenabschnitts. Nach der Prüfung konnte über den manuellen Eingriff der Seitenstreifen freigegeben werden. Den Verkehrsteilnehmern ist die Freigabe über die Ver-

kehrsbeflussungsanlage visualisiert worden. Die Arbeitsabläufe sind dabei während der Abarbeitung in eine umfassende Kooperationsstruktur eingebettet. So müssen sich die Operatoren ständig mit anderen am Prozess beteiligten Personen (z. B. Straßenmeisterei) abstimmen.

Die Analyse über alle Domänen hinweg zeigt, dass die Arbeitsschritte nach einer Aktivierung durch ein eintretendes Ereignis über alle Domänen hinweg ähnlich verlaufen. So muss sich der Operator schnellstmöglich ein aktuelles Lagebild verschaffen, in dem er im Rahmen von Diagnosesetätigkeiten per Maus und Tastatur in den unterschiedlichen Prozessübersichten navigiert. In ihrer täglichen Arbeit sind Operatoren sowohl auf eine Übersicht des Überwachungsraums als auch auf Detailinformationen zu Prozessausschnitten angewiesen. Darüber hinaus hat sich auch gezeigt, dass der Operator trotz Automation immer noch manuell in den Prozess eingreift.

Strategies Analysis

Im Rahmen der Nutzungskontextanalyse zeigt sich über alle untersuchten Domänen hinweg, dass die Operatoren gerade bei Überwachungs- und Diagnosesetätigkeiten von den aktuell eingesetzten Benutzungsschnittstellen nicht ausreichend unterstützt werden. Die technischen Prozesse wie Straßen-, Stromnetze oder Förderbänder im Tagebau und auch die Fließbilder der Wasserversorgung im Kraftwerkskontext werden über alle untersuchten Domänen hinweg in einer netzwerkartigen Struktur dargestellt. Dabei sind nicht nur Knoten in der netzwerkartigen Struktur, z. B. Kreuzungen im Verkehrsüberwachungskontext, sondern auch die Informationen, die über die Kanten bzw. Pfade zwischen den Knotenpunkten kommen, von Bedeutung. Tabelle 5 gibt einen Überblick über die domänenübergreifenden Kanten und Knoten in den technischen Prozessen. Die Kanten repräsentieren im Stromnetz die Lastverteilung oder in der Verkehrsleitzentrale das Verkehrsaufkommen. Die Erhebung hat gezeigt, dass gerade die Information, die an den Kanten anliegt, relevant ist.

Tabelle 5 Übersicht über die Kanten und Knoten in der Prozessvisualisierung

	Kraftwerke		Energieverteilung	Bergbau	Verkehrskontrolle		Logistik	Einsatzüberwachung
Informationsraum	Müll	Kohle	Strom	Braunkohle	Fahrzeuge	Flugzeuge	Briefe	Betriebsmittel
Kanten	Kühlwasserleitungen	Kühlwasserleitungen	Stromleitungen	Förderbänder	Straßen	Kommunikationsverb. zum Radarsystem	Förderbänder	Straßen
Knoten	Ventile	Ventile	Transformatorstationen	Knotenpunkte zwischen Förderbändern	Kreuzungen	Radarsysteme	Knotenpunkte zwischen Förderbändern	Kreuzungen

Neben der Übersicht über den gesamten technischen Prozess benötigen die Operatoren häufig gleichzeitig Detailinformationen zu besonders relevanten Prozessausschnitten. Gerade für Diagnosesetätigkeiten sind die Detailinformationen besonders wichtig, um Handlungsschritte planen zu können. Die Analyse der Arbeitsabläufe eines Operators verdeutlicht das Problem des Übersichts-Detail-Paradoxons. Im Zuge von Überwachungstätigkeiten ist es für den Operator essenziell, Veränderungen der Prozesszustände unmittelbar wahrnehmen zu können. Diese können in Form von Visualisierungen im Prozessbild oder in Meldungslisten, durch akustische Alarmer oder durch Anrufe aus dem Feld mitgeteilt werden. Wird der Operator auf eine Veränderung aufmerksam gemacht, muss er die entsprechende Prozessvariable auffinden, um die Ursache der Veränderung klären zu

können. Teilweise bekommt der Operator Hilfestellung durch die automatisierten Systeme. Die zu überwachenden Prozesse werden auf großen vertikalen Wanddisplays abgebildet (siehe Abbildung 22a). Wird eine Veränderung in Form eines anormalen Betriebszustands wie stockender Verkehr im Kontext der Verkehrsüberwachung identifiziert, werden zusätzliche Detailinformationen benötigt, um die Ursache der Störung diagnostizieren zu können. Neben kontextsensitiven Prozessvariablen der betroffenen Objekte benötigt der Operator aufgrund von Abhängigkeiten auch Informationen zu benachbarten Objekten. Abbildung 22b zeigt Ausschnitte von Straßennetzen in der Verkehrsüberwachung. Maßgeblich für den Operator sind dabei die kontextsensitiven Informationen an den Kanten, um bei Diagnosetätigkeiten die notwendigen Maßnahmen einleiten zu können.

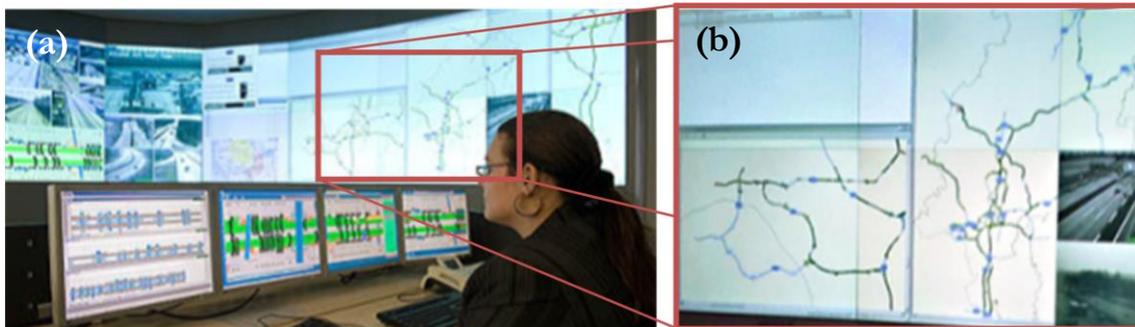


Abbildung 22 Die Arbeitsumgebung in der Verkehrsleitzentrale

**(a) Arbeitsplatz mit Wanddisplay und Multi-Monitor-Umgebung (Private Space);
(b) Netzausschnitte auf dem Wanddisplay (Public Space)¹⁷**

Aktuell werden in Leitwarten mehrere Ausschnitte des gesamten technischen Prozesses mit einem geringeren Detailgrad angezeigt. Wegen der getrennten Darstellung von Prozessausschnitten ist es schwierig, sich ein mentales Modell über den gesamten zu überwachenden Prozess zu bilden. Die Navigation auf den großen Wanddisplays wird in künstliche Teilschritte zerlegt, da die Manipulation von Prozessvariablen dem Operator im sichtbaren Bereich des Prozessausschnitts lediglich über das vertikale und horizontale Scrollen möglich ist.

Die größte Problematik liegt im Übersichtsverlust über den gesamten Überwachungsraum. Somit sind Zustandsänderungen in der Prozessdynamik in Bereichen außerhalb des Bildschirmausschnitts schwer erfassbar. Im Zuge der Überwachungstätigkeit werden auffällige Prozessveränderungen auf dem Wanddisplay vom Operator identifiziert. Die erforderlichen Detailinformationen für die Diagnose müssen auf den am Arbeitsplatz befindlichen Bildschirmen (*Private Space*) sequenziell abgerufen werden. Die Beobachtungen zeigen, dass die Prozessbilder der unterschiedlichen Displayebenen nicht synchronisiert werden. Erschwerend kommt hinzu, dass die Detailinformationen getrennt von ihrem lokalen Kontext dargestellt werden. Diese Form der räumlichen Trennung von Informationen erfordert vom Operator ständige Blickwechsel, die unmittelbar zu einer geteilten Aufmerksamkeit (Cockburn, Karlson & Bederson, 2008) führen.

Die Beobachtungen haben gezeigt, dass die Navigation zu den Prozessvariablen direkt am Arbeitsplatz des Operators erfolgt. Mit der Maus wird entweder schrittweise das Prozessbild (Toggling) durchgeschaltet, oder die Scroll-Balken werden horizontal bzw. vertikal verschoben (Scrolling). Alternativ dazu kann auch das Prozessbild direkt mit der Maus bewegt werden (Panning). Ist die entsprechende Prozessvariable gefunden worden, wird sie per Mausklick ausgewählt (Selektion). Nach der Selektion öffnet sich ein Dialogfenster. Im Dialogfenster findet die Manipulation der Prozessvariablen über ein virtuelles Kontrollelement statt. Um einer ungewollten Manipulation entgegenzuwirken, muss der manuelle Eingriff aus Sicherheitsgründen gesondert bestätigt werden.

¹⁷ <http://www.staufreieshessen2015.hessen.de>, zuletzt aufgerufen am 23.03.2014.

Die Herstellung eines Prozessbezugs ist nur in Form virtueller Prozessvariablen auf visueller Ebene möglich. So haben vor allem ältere Operatoren, die noch die analogen Stellteile in früheren Leitwartengenerationen betätigt haben, angemahnt, dass durch die Maus- und Tastaturbedienung die motorischen und sensorischen Fähigkeiten des Operators beinahe gänzlich ausgeblendet werden. Somit sind die sensorischen Rückschlüsse auf aktuelle Prozessdynamiken lediglich auf die visuelle Ebene reduziert.

Weiterhin zeigt die Analyse, dass neben den beiden Darstellungsvarianten des Informationsraums – Übersicht und Detailansicht – auch ein zusätzlicher Meldungsbildschirm in die Arbeitsumgebung des Operators integriert ist. Die Meldungslisten werden über alle Domänen hinweg über die Multi-Monitor-Umgebung realisiert. Somit existiert ein dezidiertes Bildschirm zur permanenten Visualisierung von Meldungen. Die Meldungen gehen in Form einer Listendarstellung ein und unterscheiden sich anhand einer vordefinierten Priorisierung. Sie umfassen Störungen, Fehler oder andere Informationen, die für den Operator von Bedeutung sind. Der Operator geht den eingehenden Meldungen nach und analysiert die Ursache der Meldung. Der Meldungsbildschirm stellt eine globale Prozessansicht über den gesamten Informationsraum dar. Das bedeutet, dass Meldungen angezeigt werden, die einen beliebigen Ausschnitt aus dem Informationsraum betreffen können. Im einfachsten Fall betrifft eine Meldung eine Variable im Informationsraum. Wie bereits anhand der Prozessvariablen beschrieben, stehen aber auch Meldungen miteinander in Beziehung. So kann beispielsweise im Kontext der Verkehrsüberwachung bei Autobahnkilometer zehn ein Verkehrsunfall geschehen, der daraus resultierende Stau wird aber schon bei Kilometer sechs detektiert und dem Operator angezeigt. Tritt nun eine Störung im Prozess auf, navigiert der Operator auf den jeweiligen Ausschnitt des Informationsraums und behebt dann mittels spezieller Funktionen der Detailansicht die Störung. Hier haben sich während der Beobachtungen vor allem zwei Problemfelder gezeigt: zum einen wird die Beziehung zwischen Meldungen auf dem Meldungsbildschirm nur unzureichend dargestellt, zum anderen geht der Bezug zwischen Meldung und lokalem Kontext der Meldung in der Prozessübersicht vollkommen verloren.

Zurzeit ist der Operator bei Dokumentationstätigkeiten an die Nutzung teils papierbasierter, teils digitaler, unabhängig voneinander arbeitender Systeme und Arbeitsutensilien gebunden. Das führt dazu, dass wichtige Informationen nicht immer griffbereit sind, und zeigt sich vor allem, wenn die Notizen oder Protokolle der Operatoren nicht in digitaler Form vorliegen. Aussagen der Operatoren bestätigen, dass bei der täglichen Arbeit wichtige Notizen oder Protokolle für die Schichtübergabe analog auf Papier geschrieben werden. Darüber hinaus werden die Schichtbücher auch handschriftlich verfasst. In manchen Leitwarten führen die Operatoren je nach Bedarf entsprechende Kontrollgänge durch. Die Ergebnisse werden ebenfalls analog auf Papier festgehalten. Gerade in komplexen Situationen kann das zu einer Verzögerung der Reaktionszeiten führen, wenn die Informationen nicht vollständig allen Mitarbeitern vorliegen. Heute ist daher faktisch kein schneller Zugriff auf Notizen und Protokolle von anderen Plätzen der Leitwartenumgebung möglich.

Social-Organizational Analysis

Für den täglichen Prozessablauf ist eine ständige Kommunikation aller beteiligten Personen notwendig, um beispielsweise abzustimmen, wie auf die eintretenden Ereignisse reagiert werden soll. Somit erfordert die tägliche Aufgabenerfüllung die Bereitstellung von Kommunikationsmöglichkeiten. Zentrales Werkzeug für die Zusammenarbeit ist die Prozessvisualisierung auf dem Wanddisplay (*Public Space*). Die Analyse bestätigt, dass etliche Operatoren am Prozess beteiligt sind. Die Auswertungen der Interviews haben ergeben, dass bei Nacht und an Wochenenden bis zu vier Personen ($M = 2.55$, $SD = 1.04$), am Tag sogar bis zu acht Personen gleichzeitig ($M = 3.73$, $SD = 2.24$) am Überwachen und Steuern beteiligt sind. Die vorherrschenden Eingabegeräte wie Maus und Tastatur scheinen die Kooperation nur wenig zu unterstützen. So hat sich im Rahmen der teilnehmenden

Beobachtung zeigt, dass nach gemeinsamen Diagnosegesprächen zur Ursachenklärung jeder Operator, um Eingaben zu tätigen, an seinen Arbeitsplatz zurück muss. Aufgrund unzulänglicher Konzepte können die gemeinsamen Diagnostetätigkeiten nicht auf dem großen Wanddisplay ausgeführt werden. Kollaboration und Kooperation sind nicht allein zwischen den Mitarbeitern innerhalb der Leitwarte notwendig (vgl. *Same Place* nach Johansen, 1988). Sondern auch die Koordination beispielsweise von Technikern vor Ort in der Anlage oder im Feld (vgl. *Different Place* nach Johansen, 1988) ist eine wichtige Aufgabe. Im Regelfall findet die Kommunikation mit diesen Mitarbeitern per Telefon oder Funk statt. Häufig muss aber ein separates Gerät benutzt werden. Im Rahmen der Analyse sind Sequenzmodelle (Beyer & Holtzblatt, 1997) erstellt worden, die aufzeigen, dass gerade bei anormalen Prozesssituationen die Kommunikation über diverse Kanäle gleichzeitig ablaufen muss. Während beispielsweise der Techniker draußen in der Anlage angefunkelt werden kann, benötigt der Operator zur Abstimmung mit der Betriebszentrale ein Telefon oder Handy (siehe Abbildung 23a). Hinzu kommt vor allem die Kommunikation unter den Operatoren, die häufig von Angesicht zu Angesicht stattfindet. Darüber hinaus wird auch indirekt über physische Artefakte wie Memos, Notizen oder Warningschilder, die einen definierten Zustand darstellen, kommuniziert (siehe Abbildung 23b).

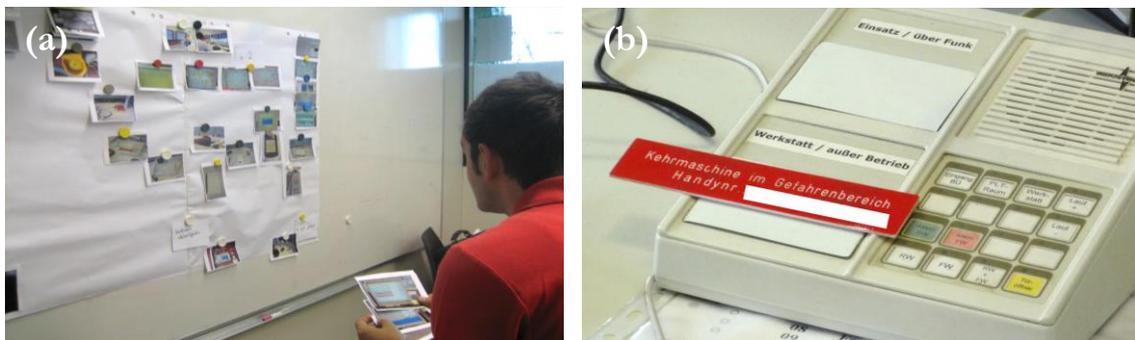


Abbildung 23 Modellierung der Kommunikationsabläufe und ein Kommunikationsartefakt

(a) Anhand von Sequenzmodellen sind die Artefakte, die für die Kommunikation erforderlich gewesen sind, nachgebildet worden (Schwarz et al., 2010). (b) Um einen Kollegen zu warnen, dass sich derzeit eine Kehrmachine im Gefahrenbereich befindet, ist ein Warnschild am Sprechfunk platziert worden.

Gerade während Schichtübergaben ist die Form des kooperativen und kollaborativen Arbeitens zwischen den Operatoren wichtig. Die nonverbale Kommunikation ist in früheren Leitwarten durch die physische Beschaffenheit der Schalttafeln und die damit notwendigen Körperbewegungen stärker ausgeprägt gewesen. Dennoch wird auch in der heutigen Prozessführung der Körper und damit der Standpunkt des Operators in die soziale Interaktion einbezogen. Verlässt ein Operator seinen Arbeitsplatz, so richtet der Kollege automatisch seinen Blick auf den gesamten Überwachungsraum, ohne explizit zur Überwachung aufgefordert worden zu sein.

Worker Competencies Analysis

In der letzten Phase werden die Ergebnisse vorgestellt, die zum einen den Einsatz neuer Formen von Interaktionstechnologien und zum anderen die zurückgemeldeten Verbesserungspotenziale von Operatoren bezüglich der Arbeitsumgebung beinhalten. Im Rahmen von Experteninterviews sind neue Interaktionsformen mit den Operatoren diskutiert worden. Die Aussagen der Abschlussinterviews sind zu Kernthemen zusammengefasst worden. Die neuen Interaktionstechnologien sind zusätzlich empirisch mit Usability-Experten der Domäne evaluiert worden, um valide Erkenntnisse zu erhalten.

Den Teilnehmern ($N = 12$) sind die neuen Interaktionsformen und -technologien anhand von Bildmaterial erläutert worden. Der Einsatz der entsprechenden Technologie musste von den Ope-

ratoren auf einer dreistufigen Bewertungsskala (*Ja*, *Vielleicht - müsste zuerst im Arbeitskontext getestet werden*, *Nein*) eingeordnet werden. Die Operatoren mussten angeben ob: *Die „...“ Technologie den Workflow in der Leitwarte unterstützt*. Im Folgenden werden die sechs Technologien beschrieben. Die Computerexpertise ist von den Probanden auf einer fünfstufigen Ratingskala (1 *keine Kenntnisse* bis 5 *ausgezeichnete Kenntnisse*) mit $M = 3.59$ ($SD = 0.92$) angegeben worden.

Multitouch-Interaction – Die Technologie als Form der Interaktion unterstützt die persönliche und soziale Interaktion, z. B. bei der direkten Manipulation von Prozessvariablen.

Digital-Pen & Paper – Die Digital-Pen & Paper-Technologie hilft beim Anlegen von Protokollen, Schichtbüchern oder Notizen während der Überwachungs- und Steuerungstätigkeiten. So können beispielsweise die Protokolle direkt digitalisiert und anderen Operatoren zur Verfügung gestellt werden.

Laser-Pointer – Mit Hilfe des Laser-Pointers soll die Interaktion auf den großen Wandbildschirmen unterstützt werden. Der Mauszeiger wird per Laser-Pointer wie bei der herkömmlichen Mauseingabe (z. B. Scroll-Balken) bewegt.

Gesture-Interaction – Das technische System wird mit reiner Gesteninteraktion wie Handgesten gesteuert. Als Beispiel ist hierbei eine typische Wischgeste zum Weiterschalten auf ein anderes Prozessbild herangezogen worden.

Eye-Tracking – Hierbei soll die Interaktion wie die Steuerung eines Prozessbildes über eine Blickbewegung getätigt werden.

Voice-Control – Die Steuerung des Systems soll per Spracheingaben vorstättgehen, d. h., es kann beispielsweise durch Sprachkommandos auf das nächste Prozessbild navigiert werden.

Wie Abbildung 24 zeigt, wird Multitouch-Interaction mit erleichterter Kollaboration und intuitiver Bedienung in Verbindung gebracht und von 50% der Experten als sinnvoll für den Arbeitskontext betrachtet.

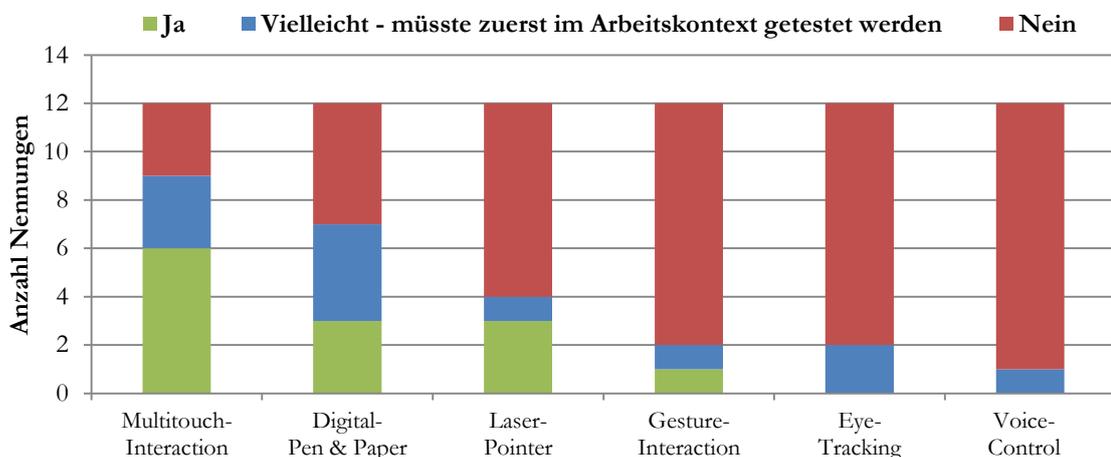


Abbildung 24 Bewertung der Interaktionstechnologien durch die Operatoren

Das meiste Potenzial zur Unterstützung ihrer Arbeit sehen die Befragten (N = 12) in der Multitouch-Interaction (Schwarz, Kehr, et al., 2010).

Drei Operatoren wollen die Multitouch-Interaction im Arbeitskontext testen und beantworten die Frage mit *Vielleicht*. Auch einen Einsatz der Digital-Pen & Paper-Technologie können sich drei Operatoren sofort vorstellen, und vier Operatoren wollen solch ein System einmal testen. Die Interaktion mit einem Laser-Pointer, um Prozessausschnitte auf den großen Wandbildschirmen zu ändern, wird nur von drei Operatoren als nützlich empfunden. Ein Teilnehmer gibt an, das System

gern testen zu wollen. Die restlichen Operatoren äußern bei dieser Technologie entsprechende Bedenken bezüglich der Ermüdung der Arme.

Die übrigen Technologien – Gesture-Interaction, Eye-Tracking und Voice-Control – erscheinen den Experten bei der Steuerung von Prozessen als ungeeignet. Über 80% der Befragten beurteilen die Technologien als wenig hilfreich im Leitwartenkontext. Grund für das schlechte Abschneiden der Sprachsteuerung ist der hohe Kommunikationsbedarf bei kooperativen Tätigkeiten in der Leitwarte.

Zum Abschluss sind die Operatoren nach Optimierungspotenzialen an ihren eigenen Arbeitsplätzen befragt worden. Es ergeben sich 46 Nennungen, die ausgewertet und in sechs Kernthemen aggregiert worden sind.

Physische Arbeitsumgebung – In der Kategorie *physische Gestaltung des Arbeitsplatzes* gibt es insgesamt 15 Aussagen, die Verbesserungsmöglichkeiten in den Arbeitsbedingungen hervorheben. Hier wird beispielsweise der Wunsch nach größeren Bildschirmen geäußert, die zudem besser in die Arbeitsumgebung integriert werden müssen ($N = 6$). Ebenso sollte die Ergonomie des Arbeitsplatzes verbessert werden ($N = 2$), z. B. die Ausrichtung der Displays je nach Aufgabentypus.

Interaktion – Im Bereich der Interaktion am Arbeitsplatz wird der Wunsch nach einer Vereinheitlichung der Interaktionsgeräte in der Arbeitsumgebung geäußert ($N = 6$). Weiterhin wird die Maus ($N = 4$) als Interaktionsgerät als nicht zeitgemäß angesehen.

Visualisierung – Die Operatoren geben an, dass derzeit eine Informationsflut in Form der Prozessvisualisierung über sie hereinbräche. Dabei müsse häufig zwischen verschiedenen Prozessansichten hin und her gewechselt werden ($N = 7$).

Zusammenarbeit – In der Kategorie der sozialen Interaktion beanstanden die Operatoren, dass die eingesetzten Geräte (Maus und Tastatur), aber auch die Prozesssoftware die Kooperation und Kollaboration nicht fördern ($N = 5$).

Alarmmanagement – Darüber hinaus sollten die Alarmmeldungen besser in den Gesamtprozess eingebunden werden, um auf diese Weise schneller auf eventuelle anormale Betriebsituationen reagieren zu können ($N = 5$).

Medienbrüche – Zusätzlich bemängeln die Operatoren ($N = 4$) die vorherrschenden Medienbrüche (real vs. digital) bei der Erstellung von Dokumentationen wie Schichtübergabeprotokollen oder -büchern.

Zur Bewertung neuer Interaktionstechnologien sind neben den Experteninterviews vor Ort auch Interviews mit Usability-Experten eines Unternehmens geführt worden, die in der Gestaltung von Leitwarten tätig sind. Das erscheint insofern sinnvoll, da diese Experten im Gegensatz zu den Operatoren bereits Vorerfahrung im Umgang mit neuen Interaktionstechnologien haben. Die vier weiblichen und acht männlichen Experten (durchschnittliches Alter 37.25 Jahre, $SD = 3.24$) kommen aus dem Gebiet der Gestaltung von Benutzungsschnittstellen für folgende Bereiche: Energieverteilung und Kraftwerke ($N = 7$), Verkehrskontrollsysteme ($N = 2$), Medizintechnik ($N = 2$) und Logistiksysteme ($N = 1$).

Wie Abbildung 25 zeigt, sind die Bewertungen der Multitouch-Interaction und Digital-Pen & Paper-Technologie identisch auf den beiden vorderen Plätzen des Rankings.

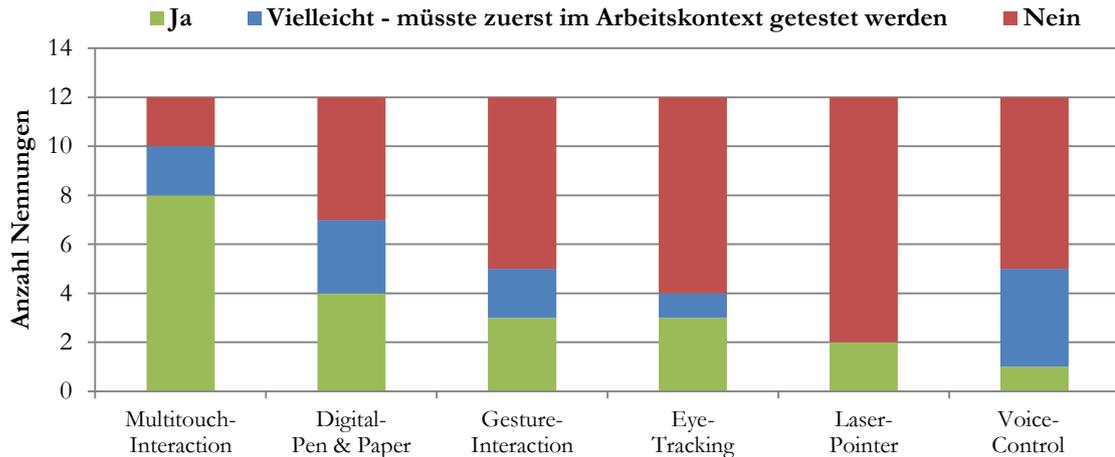


Abbildung 25 Bewertung der Interaktionstechnologien durch Usability-Experten

Ein ähnliches Ergebnis zeigt sich auch bei der Bewertung durch die Usability-Experten ($N = 12$). Auch hier wird der Einsatz der Multitouch-Interaction und der Digital-Pen & Paper-Technologie positiv bewertet.

Im Gegensatz zu den Operatoreninterviews können sich hier deutlich mehr Usability-Experten ($N = 8$) den Einsatz von Multitouch-Interaction in der Arbeitsumgebung von Operatoren vorstellen. Ein ähnliches Meinungsbild zeichnet sich bei der Sprachsteuerung ab. Die Technologie wird aus demselben Grund (ständiger Kommunikationsbedarf) als nicht zweckmäßig eingestuft und landet somit auf dem letzten Platz.

3.3 Zusammenfassung und Implikation

Die Ergebnisse liefern wichtige Erkenntnisse für die Gestaltung zukünftiger Arbeitsplätze, die die menschlichen Fähigkeiten umfassend beachten. So hat die Evaluation verdeutlicht, dass bei aktuellen Entwicklungen stets das einzelne Produkt, aber nie der Operator mit seinen angeborenen Fähigkeiten und Fertigkeiten im Mittelpunkt der Komposition aller Interaktionsgeräte steht. Das zeigt sich unter anderem darin, dass der Operator einem Sammelsurium von Geräten ausgesetzt ist. Gerade bei anormalen Prozesssituationen, wenn Fähigkeiten zur Entwicklung von Problemlösestrategien notwendig sind (Wittenberg, 2001), könnte die Vielzahl unterschiedlicher Geräte eine kognitive Überforderung (*Cognitive Overload*) hervorrufen und fehlerhafte Entscheidungen auslösen (Grams, 1998). Komplexe Prozesssituationen können beispielsweise leicht zur Verwechslung von Eingabegeräten führen.

Die Zielsetzung eines ganzheitlichen Konzepts für nutzerzentrierte Arbeitsumgebungen sollte daher sein, die Anzahl der benötigten Geräte zu minimieren und eine konsistente Benutzungsoberfläche sowie ein durchgängiges Bedienkonzept zu schaffen, um einen *Cognitive Overload* der Operatoren zu verhindern. Die Experteninterviews haben weiterhin verdeutlicht, dass die Verwendung neuer Technologien bei den Operatoren auf Akzeptanz stößt. Es gilt dagegen zu berücksichtigen, dass die Experten mittleren Alters sind, die sehr heterogene Berufe ausüben. Beide Kriterien erfordern trotz der hohen Selbsteinschätzung der Teilnehmer bezüglich ihrer Computerexpertise eine wohlbedachte Gestaltung.

In den untersuchten Domänen zeigen sich Unterschiede zwischen den objektbezogenen Überwachungs- und Steuerungsaufgaben in den technischen Systemklassen in Bezug auf den *funktionalen Zweck*, z. B. die Darstellung des Energie- oder Informationstransports. Beim Vergleich der einzelnen Handlungsschritte zeigen sich domänenübergreifend sehr ähnliche Verhaltensmuster sowohl

bei den immer wiederkehrenden Tätigkeiten wie Überwachung, Diagnose, direkten Prozesseingriffen durch Manipulation von Prozessvariablen als auch bei Dokumentationstätigkeiten.

Die Ergebnisse zeigen auf, dass für die Operatoren die Prozessvisualisierung auf den großen Wanddisplays das zentrale Werkzeug zur Überwachung von Prozessen ist. Dabei ist es besonders wichtig, den Überblick über den Prozess zu wahren, um somit Veränderungen in der Prozessdynamik zu jedem Zeitpunkt erfassen zu können. Dabei zeigt sich über alle Domänen hinweg, dass die Operatoren mit einem Übersicht-Detail-Paradoxon konfrontiert sind. Für Tätigkeiten stehen dem Operator zwei Displayebenen zur Verfügung: zum einen große Wanddisplays (*Public Space*), die den zu überwachenden technischen Prozess visualisieren, und zum anderen kleine Displays (*Private Space*), die Detailinformationen eines Netzausschnitts darstellen und gleichzeitig die Manipulation von Prozessvariablen ermöglichen. In allen untersuchten Leitwarten besteht die Notwendigkeit, große Datenmengen in Form einer netzwerkartigen Struktur mit Kanten und Knoten zu visualisieren. Hierbei werden die Daten unterschiedlich aufbereitet. Sie können als grafische Prozessübersichten, Detailansichten oder textuelle Detailinformationen wie Meldungslisten vorliegen. Dabei zeigt sich, dass auf den Wanddisplays unterschiedliche Prozessausschnitte mit einem feineren Detailgrad dargestellt werden. Die Prozessübersicht, die meist aus geografischen oder topologischen Daten und den dazugehörigen Prozessvariablen besteht, erreicht sehr oft eine Größe, die es nicht ermöglicht, alle Information gleichzeitig zu visualisieren. Die Konsequenz daraus ist, dass lediglich über ein vertikales und horizontales Scrollen im sichtbaren Bereich der Prozessausschnitte manipuliert werden kann. Dabei findet eine Zerlegung des Navigationsprozesses in künstliche Teilschritte statt. Das erschwert es, ein mentales Modell über den vollständigen Informationsraum zu generieren. Nach Aussagen der Experten führt dies zum Verlust der Übersicht im Überwachungsraum.

Dem Übersichts-Detail-Paradoxon könnte maßgeblich entgegengewirkt werden, wenn beispielsweise Detailinformationen im Kontext integriert werden. Dadurch könnte der ständige Blickwechsel, der derzeit aufgrund von räumlich getrennten Informationen erforderlich ist, vermieden werden. Kontextinformationen können sowohl für die Orientierung als auch zur Interpretation von Detailinformationen genutzt werden. Das bedeutet, dass bei der Betrachtung von Detailinformationen ein Bewusstsein geschaffen werden muss, an welcher Position im Informationsraum sich der Operator aktuell befindet, um Fehlinterpretationen der Informationen zu verhindern. Um die Gefahr der Informationsüberflutung zu verringern, sollten sowohl Kontext- als auch Detailinformationen nur bei Bedarf (*Details-on-Demand*) angezeigt werden. Darüber hinaus muss jeder Operator die Möglichkeit haben, sich ohne Verlust des Kontexts lokale Prozessdetails anzeigen zu lassen.

Nach Aussagen der Experten verhindert die immense Anzahl der eingesetzten Geräte in der Arbeitsumgebung eine reibungslose Ausübung der alltäglichen Operatorenarbeit. Hinzu kommt, dass die Übersicht auf dem Wanddisplay mit der Visualisierung der Detailinformationen (*Private Space*) nicht synchronisiert ist. Die Informationen müssen auf beiden Displayebenen einzeln abgerufen und vom Operator in Beziehung zueinander gestellt werden. Die fehlende Synchronisation der Displayebenen zwischen dem Wanddisplay und den Displays direkt am Arbeitsplatz erfordert vom Operator eine erneute Auswahl des Kontexts. Darüber hinaus ist ein ständiger Fokuswechsel zwischen den Displayebenen zur Aufgabenerfüllung notwendig.

Des Weiteren hat die Analyse ergeben, dass herkömmliche Interaktionsgeräte wie Maus oder Tastatur den Operator nicht ausreichend bei der Interaktion auf großen Wanddisplays zu unterstützen scheinen. Die Operatoren sehen den Bedarf, die vorherrschenden Eingabegeräte zu optimieren bzw. zu ersetzen. Gerade für die Steuerung des entfernten Wanddisplays muss der Operator bei Navigationsaufgaben ständig mit der Maus nachgreifen. Zusätzlich ist eine sehr filigrane Bewegung des Eingabegeräts notwendig, um den Zeiger, der darüber hinaus noch schwer zu erkennen ist, auf der gewünschten Stelle im Prozessbild zu platzieren. Diese Beobachtung ist für die Navigation in netzwerkartigen Strukturen des Informationsraums essenziell. Einerseits ist eine schnelle Navigati-

on zu einem markanten Punkt der Prozessvisualisierung wichtig, da dort die notwendigen Informationen abgerufen werden können. Andererseits muss eine effiziente Navigation einer Kante entlang, z. B. dem Straßenverlauf, ermöglicht werden, damit bei größeren Streckenabschnitten die Problemursache schnellstmöglich ermittelt werden kann.

Die Untersuchung zeigt, dass ein manueller Prozesseingriff, d. h. die gezielte Manipulation von Prozessvariablen, aus mehreren Handlungsschritten besteht und ausschließlich per Maus oder Tastatur erfolgt. Um eine realitätsbasierte Bedienweise zu fördern, sollten sich daher die Anmutung und das Verhalten des entsprechenden Kontrollelements an der realen Welt orientieren. Dabei kann die sinnlich-körperliche Wahrnehmung verstärkt werden, indem das Konzept sich an den Bedienqualitäten der früheren Leitwarten orientiert (siehe Abschnitt 2.3.2), d. h., sich die motorischen und taktilen Fähigkeiten des Operators zunutze macht. Das kann durch den Einsatz neuer Interaktionstechniken gefördert werden, da diese das direktere Erfühlen des Prozessgeschehens wie das Auf- und Zudrehen eines Ventils ermöglichen. Ferner können hierdurch auch die physikalischen Eigenschaften der Zustandsgrößen im Hinblick auf ihre natürliche Wahrnehmungsmodalität angedeutet werden. In Anbetracht dessen würde der Wahrnehmungsprozess effizienter ablaufen, da beispielsweise die Decodierung der visuell aufgenommenen Daten beschleunigt wird (siehe Abschnitt 2.2.1). Der Zustand *Ventil zu* wird unmittelbar wahrgenommen. Eine Interpretation aus der visuellen Farbcodierung ist nicht zwingend. Parallel kann die Ableitung eines Zustands aufgrund der modalitätsübergreifenden Interaktionen eine positive Auswirkung hervorrufen.

Auch die Informationsvisualisierungen im Bereich des Meldungsmanagements tragen wenig zur kognitiven Entlastung der Operatoren bei. Stattdessen werden die eingehenden Meldungen losgelöst vom Kontext des Prozessbilds dargestellt, so dass letztlich der Operator selbständig zu den einzelnen Meldungen navigieren muss. So sind zum einen die Beziehungen zu den Meldungen nicht transparent dargestellt, und zum anderen geht der Bezug zwischen Meldung und lokalem Kontext gänzlich verloren. Bei Diagnosetätigkeiten ist die Möglichkeit einer direkten Navigation zur Ursache essenziell, damit der Operator möglichst schnell eingreifen kann. Hierbei müssen geeignete Interaktions- und Visualisierungstechniken für das entfernte Wanddisplay (*Public Space*) und auch für den persönlichen Arbeitsplatz (*Private Space*) entwickelt werden.

In der täglichen Arbeit in Leitwarten werden diverse Artefakte wie Checklisten, Notizen oder Protokolle immer noch handschriftlich verfasst. Neben der Erstellung einfacher Notizen werden auch Schichtbücher analog geführt. So zeigt die Analyse, dass das Schreiben mit Papier und Stift der Eingabe per Tastatur vorgezogen wird. Die analoge Schriftführung birgt den großen Nachteil der begrenzten Möglichkeiten bzw. des hohen Aufwands der Digitalisierung. Ein weiteres Problem der analogen Dokumentation ist die Zuordnung einzelner Einträge zu den entsprechenden Elementen des zu überwachenden Prozesses (z. B. Prozessvariablen). Das kann dazu führen, dass eine zeitaufwendige Suche von Kontextinformationen nötig ist oder dass entsprechende Informationen gänzlich übersehen werden. Eine Suche in den analogen Aufzeichnungen ist mit einem wesentlich größeren Zeitaufwand verbunden als die Suche in digitalen Informationen, zumal sie keine Filterung ermöglicht. Die unmittelbare und automatisierte Digitalisierung der analogen Artefakte ist daher sowohl für die individuelle als auch für die kooperative Arbeit der Operatoren essenziell.

Die Analyse zeigt, dass die Kooperation in der Leitwarte und die Kommunikation mit Technikern vor Ort essenzielle Aufgaben sind und von den aktuellen Technologien nur unzureichend berücksichtigt werden. Gerade für kooperative Arbeiten sind die derzeitigen Interaktionsmodalitäten wie Maus und Tastatur wenig geeignet. Körperliche und soziale Faktoren des Menschen werden nicht berücksichtigt. Die bestehenden Eingabegeräte verhindern das flexible Reagieren in alltäglichen Situationen. Neben Problemen der persönlichen Interaktion des Operators ergeben sich auch solche der sozialen Interaktion. Analoge Notizen, Schichtbücher oder sonstige Dokumente sind nur als Einzelexemplar vorhanden. Des Weiteren wird die soziale Interaktion oftmals über indirekte

Kommunikation in Form realweltlicher Artefakte (z. B. Schichtbücher, Checklisten, Notizen usw.) ausgedrückt. Jene Art der impliziten Kommunikation ist besonders für übergeordnete Aktivitäten (z. B. Koordination und Kooperation) wichtig, wird jedoch unzureichend unterstützt. Da in der Evaluation beobachtet worden ist, dass die Interaktion und Kommunikation zum einen in der realen Welt (z. B. Diskussionen, Übergabe von Papierdokumenten) und zum anderen über digitale Systeme (z. B. Meldungen, Statusüberwachung) stattfinden, muss die Vermischung der beiden Welten in den zu entwickelnden Konzepten entsprechend beachtet werden.

In den Leitwarten werden große Wanddisplays (*Public Space*) und kleine Displays (*Private Space*) direkt in der Arbeitsumgebung des Operators eingesetzt. Derzeit gibt es keine differenzierte Anpassung der Displayausrichtungen auf die Aufgaben der Operatoren. Für alle Aufgaben und Tätigkeiten, wie Überwachung, Diagnose und Manipulation werden ausschließlich vertikal ausgerichtete Displays eingesetzt. Die Ergebnisse der Nutzungskontextanalyse verdeutlichen, dass bei der Gestaltung der physischen Arbeitsumgebung neben dem Einsatz von hochauflösenden Displays zur detaillierten Prozessvisualisierung, die von den Experten gefordert worden sind, auch die Architektur Beachtung finden muss. So kann der Operator beispielsweise dadurch unterstützt werden, dass die Ausrichtung und die Position der Displays der jeweiligen Aufgabensituation angepasst werden.

Tabelle 6 zeigt zusammenfassend die Anforderungen an die Arbeitsebenen *Public Space* und *Private Space*. Dabei sollen die *Überwachung* des Prozesses, die *Diagnose* der Problemursache, die *Manipulation* von Prozessvariablen und die *Dokumentation* der Eingriffe unterstützt werden.

Tabelle 6 Zusammenfassung der Anforderungen

	Überwachung und Diagnose	Manipulation	Dokumentation
Public Space	<ul style="list-style-type: none"> • Visualisierung Overview- und Detailinformationen des gesamten technischen Prozesses • Integration von Kontext- und Detailinformationen • Details-on-Demand • Navigation entlang von Kanten • Navigation direkt zu Knoten • Unterstützung einer Mehrbenutzerumgebung • Synchronisation mit <i>Private Space</i> 		
Private Space	<ul style="list-style-type: none"> • Bedienung eines entfernten Displays • Auswahl von Fokuspunkten auf <i>Public Space</i> • Synchronisation mit <i>Public Space</i> • Integrierte Meldungsliste mit direkter Navigation zur Ursache • Förderung der nonverbalen Koordination • Erstellen und Abrufen von kontextbezogenen Informationen 	<ul style="list-style-type: none"> • Direkte Manipulation von Prozessvariablen • Direkteres <i>Fühlen</i> des Prozesses 	<ul style="list-style-type: none"> • Vermeidung von Medienbrüchen bei der Dokumentation von Eingriffen • Aufzeichnungen müssen in Echtzeit zur Verfügung stehen • Filtermöglichkeiten in den erstellten Aufzeichnungen

Nachdem in diesem Kapitel Verständnis in Bezug auf die Tätigkeiten in alltäglichen Prozesssituationen hergestellt worden ist, wird im nächsten Abschnitt die Vision des *Holistic Workspace* vorgestellt. Die Erkenntnisse aus der Nutzungskontextanalyse zeigen, dass ein grundsätzlicher Bedarf besteht, den Operatoren angemessene Interaktions- und Visualisierungskonzepte zur Verfügung zu stellen.

4 Holistic Workspace

Inhalt

4.1 Herausforderungen für die zukünftige Benutzungsschnittstelle	62
4.2 Neue Formen der Interaktion für die Leitwarte	63
4.2.1 Embodied und Reality-based Interaction	63
4.2.2 Verwandte Arbeiten im Leitwartenkontext	72
4.3 Reale und digitale Interaktionsformen für die Leitwarte	78
4.3.1 Der Weg in das vierte Paradigma der Prozessführung	78
4.3.2 Blended Interaction als Designframework	79
4.4 Zusammenfassung und Implikation	88

Die Gestaltung von Interaktions- und Visualisierungskonzepten erfordert im Kontext von sicherheitskritischen Mensch-Maschine-Systemen wie Leitwarten Systematik und Sorgfalt. Sie muss damit auf die domänentypischen Anforderungen abgestimmt sein. Auf der Basis der im vorherigen Abschnitt beschriebenen theoretischen Grundlagen der Designdomäne und der Erkenntnisse der Nutzungskontextanalyse werden in diesem Kapitel neue Wege der Interaktion und Prozessvisualisierung für die Arbeitsumgebung von Leitwarten abgeleitet. Es soll daher folgende Forschungsfrage beantwortet werden:

(F2) Wie lassen sich erlernte und evolutionsbedingte Interaktionsformen des Menschen mit den Potenzialen der digitalen Welt sinnvoll kombinieren und in der Leitwarte anwenden?

Zunächst werden die Herausforderungen für die Gestaltung der holistischen Arbeitsumgebung anhand der vorangegangenen Kapitel erläutert. Darauf aufbauend, werden neue Ansätze und Theorien wie die *Embodied Cognition* (Dourish, 2001), die *Five Themes for Interaction Design* (Klemmer, Hartmann & Takayama, 2006) sowie die *Reality-based Interaction* (Jacob et al., 2007, 2008) und das *Conceptual Blending* (Fauconnier & Turner, 2002; Imaz & Benyon, 2007) beschrieben, die das Designframework *Blended Interaction* (Jetter et al., 2012, 2013) motiviert haben. Im Anschluss werden verwandte Arbeiten, die die neuen Interaktionsformen im Leitwartenkontext einsetzen, vorgestellt und diskutiert. Auf Basis der *Blended Interaction* wird ein generisches Konzept einer ganzheitlichen Arbeitsumgebung abgeleitet. In den darauffolgenden Kapiteln werden die Interaktions- und Visualisierungskonzepte mit konkreteren Beispielen anhand repräsentativer *Design Cases* verdeutlicht.

Teile dieses Kapitels sind bereits veröffentlicht worden in:

Schwarz, Tobias; Butscher, Simon; Müller, Jens; Reiterer, Harald: Blended Interaction – Neue Wege zur Vermischung realer und digitaler Interaktionskonzepte im Kontext von

Leitwarten. In *at – Automatisierungstechnik (Multimodale Interaktion)*, Oldenbourg Verlag, S. 749-759, November 2013.

Schwarz, Tobias; Müller, Jens; Butscher, Simon; Reiterer, Harald: Die Wiederentdeckung analoger Interaktionsqualitäten in der digitalen Leitwarte. In *i-com*, Oldenbourg Verlag, S. 25-33, November 2013.

Schwarz, Tobias; Müller, Jens; Butscher, Simon; Reiterer, Harald: Holistic Workspace – Neue Interaktionsformen für die Leitwarte der Zukunft. In *USEWARE 2012 – Mensch-Maschine-Interaktion (VDI-Berichte 2179)*, Kaiserslautern (Deutschland), VDI Verlag, S. 183-195, Dezember 2012.

Jetter, Hans-Christian; Geyer, Florian; Schwarz, Tobias; Reiterer, Harald: Blended Interaction – Toward a Framework for the Design of Interactive Spaces. In *Workshop Designing Collaborative Interactive Spaces (DCIS), International Working Conference on Advanced Visual Interfaces – AVI '12*, Capri Island (Italy), May 2012.

Schwarz, Tobias; Heilig, Mathias; Butscher, Simon; Müller, Jens; Reiterer, Harald: Die Gestaltung der Arbeitsumgebung von Operatoren (k-) ein Platz für Innovationen? In *AUTOMATION 2011 (VDI-Berichte 2143)*, Baden-Baden (Deutschland), VDI Verlag, Juni 2011.

Schwarz, Tobias; Kehr, Flavius; Oortmann, Holger; Reiterer, Harald: Die Leitwarte von heute verstehen – die Leitwarte von morgen gestalten! In *Mensch & Computer 2010: Interaktive Kulturen*, Duisburg (Deutschland), Oldenbourg Verlag, S. 93-102, September 2010.

4.1 Herausforderungen für die zukünftige Benutzungsschnittstelle

Historisch betrachtet ist die Entwicklung der Mensch-Maschine-Schnittstelle in Leitwarten von einem stark mechanistischen Systemverständnis geprägt.

Dabei bedient sich nach Herczeg (2008) der Operator „*der Technik im Sinne eines funktionalen Werkzeugs.*“ (S. 1)

Die Automatisierung und Virtualisierung verändert die Situation für den Operator. Folglich muss ein neues Systemverständnis geschaffen werden. So sind durch die lokale Trennung sowohl die Prozesszustände als auch die Dynamiken nur über die verfügbaren virtuellen Prozessinformationen wahrnehmbar. Dabei kommt es aufgrund der Virtualisierung zu einer Deformation des realen Prozesszustands (siehe Abschnitt 2.3.3). Das hat zur Folge, dass der wahrgenommene Prozess (mentales Modell) nicht konvergent mit dem realen Prozess übereinstimmt (Herczeg, 2004). Dementsprechend resultiert der Bedarf an Benutzungsschnittstellen, die an die menschliche *Informationsaufnahme*, die *Informationsanalyse*, die *Entscheidungsfindung* und die *Handlungsausführung* angepasst sind (Parasuraman et al., 2000; Rasmussen et al., 1994). Nach Herczeg (2014) sind bei der Gestaltung von Benutzungsschnittstellen im Leitwartenkontext alle Ebenen des SRK-Modells (*Skill*, *Rule*- und *Knowledge-Level*) nach Rasmussen (1983) einzubeziehen (siehe Abschnitt 2.2.1):

„*Prozessführungssysteme müssen unter Berücksichtigung dieser drei Handlungsweisen und ihren kognitiven und sensomotorischen Randbedingungen konzipiert werden.*“ (S. 111)

Die Operatoren fühlen sich stärker in den Prozess und damit in die Manipulation einbezogen, je natürlicher der Prozess wahrgenommen wird (Herczeg, 2014). Die früher vorherrschenden *analogen Paradigmen* der Prozessführung (siehe Abschnitt 2.3.2) mit den physischen Artefakten wie Drehregler oder Kippschalter weisen hinsichtlich der ganzheitlichen Sinneswahrnehmung Vorteile auf, die vielfach im Zuge der Virtualisierung und Automatisierung verloren gegangen sind.

Anhand eines Beispiels aus der Nutzungskontextanalyse im Kontext der Energiegewinnung wird die Distanz bei der Manipulation von Prozessvariablen (z. B. *Ventile schließen*) deutlich: (1) Erkennen

des Systemzustands auf Wanddisplay (*Public Space*), (2) Interpretieren des aktuellen Systemzustands auf Wanddisplay oder Bildschirmen im *Private Space*, (3) Suchen der Prozessvariablen auf den Bildschirmen im *Private Space*, (4) Navigation zur Prozessvariablen mit der Maus, (5) Selektion der Prozessvariablen und (6) Manipulation der Prozessvariablen mit Maus oder Tastatur durch das *Stellen*, d. h. das Ändern ihres Werts. Die Werteeingabe erfolgt durch das Manipulieren einer metaphorischen Visualisierung der Variablen (z. B. Thermometer oder Ventil), oder sie wird in das dazugehörige Textfeld eingegeben. Während durch die Digitalisierung die Verarbeitungskapazitäten der technischen Prozesse extrem gestiegen sind, führt die Interaktion über Desktop-Systeme zu einer starken Reduktion der physischen Qualitäten. Dadurch wird der Prozessbezug für den Operator geschwächt. Wickens et al. (2004) sprechen von der Bedeutung der Erinnerbarkeit eines Stellvorgangs, d. h. der Stellgröße vor der Änderung, der Differenz bzw. der durch die Interaktion hervorgerufenen Änderung und des letztlich eingestellten Werts. Im Hinblick auf Wahrnehmung und Interpretation der aktuellen Prozesszustände muss gerade die *Situation Awareness* beim Operator unterstützt werden, um die Problemlösetätigkeiten schnell einleiten zu können. Dabei müssen im Rahmen der *Shared Situation Awareness* die kooperativen und kollaborativen Arbeiten, vor allem bei der arbeitsteiligen Differenzierung unterstützt werden. Hierbei zeigt sich in Vor-Ort-Untersuchungen, dass gerade das sog. blinde Verständnis in Verbindung mit der sozialen Kommunikation und Interaktion essenziell ist. Konzepte, die sich an das *subjektiverende* Arbeitshandeln anlehnen, fördern eine ganzheitliche Wahrnehmung, in der die Vermittlung von Informationen beispielsweise nebenbei beobachtet (nonverbale Kommunikation) werden kann (Hornecker, 1997).

Um den beschriebenen Herausforderungen gerecht zu werden, müssen explizit die physischen und sozialen Fähigkeiten des Operators ganzheitlich in die Gestaltung von sowohl Interaktions- als auch Visualisierungskonzepten aufgenommen werden. Das ist deshalb besonders wichtig, da eine in Leitwarten getroffene Fehlentscheidung weitreichende Auswirkungen haben kann (Perrow, 1984). Vor dem Hintergrund der physischen Abwesenheit des technischen Prozesses besteht eine enorme Herausforderung in der nutzerzentrierten Gestaltung von Benutzungsschnittstellen für zukünftige Leitwarten. Im Folgenden werden neue Ansätze vorgestellt, die das Vorwissen und die natürlichen Fähigkeiten des Operators nutzen und diese beim Design von interaktiven Systemen einbeziehen.

4.2 Neue Formen der Interaktion für die Leitwarte

In der heutigen digitalen Prozessführung wird immer noch die GUI als das dominante Interaktionsparadigma eingesetzt. Auf Basis von neuen Erkenntnissen aus der Kognitionspsychologie wird das Paradigma auf der Grundlage der Desktop-Metapher jedoch immer mehr kritisch hinterfragt. Denn die kognitive Entwicklung des Menschen wird maßgeblich durch die körperliche und soziale Interaktion mit Objekten geprägt. Das bedeutet für die Gestaltung von Benutzungsschnittstellen, dass eine reichhaltige Interaktion, die alle Sinnesorgane sowie die körperlichen Fähigkeiten (Körperbewusstsein) einbezieht, berücksichtigt werden sollte (Reiterer, 2014). Dabei ist gerade die Unterstützung der sozialen Interaktion der Menschen im Kontext der Leitwarte von großer Bedeutung. In diesem Abschnitt wird auf die Weiterentwicklung der MCI eingegangen, die die geschilderte Forderung nach (be)greifbaren Interaktionsformen und der Unterstützung der zwischenmenschlichen Kommunikation aufgreifen. Ferner werden verwandte Projekte vorgestellt, die neue Interaktionsformen in der Arbeitsumgebung von Operatoren erforschen.

4.2.1 Embodied und Reality-based Interaction

Die neuartigen Ansätze, die ihren Ursprung im Bereich der Kognitionswissenschaften haben, fordern eine nutzerzentrierte Gestaltung natürlicher Interaktionsformen in interaktiven Szenarien. Dabei werden neue Wege der realitätsbasierten Interaktion zur Vermischung realer und digitaler Konzepte verwendet, die nachfolgend beschrieben werden.

Embodied Interaction

Im Laufe des zwanzigsten Jahrhunderts haben sich im Bereich der Kognitionswissenschaften völlig neue Sichtweisen entwickelt, die von einer engen Verbindung zwischen der Wahrnehmung der sozialen und körperlichen Handlung des Menschen und seinen Denkprozessen ausgehen. Gibbs (2005) bezeichnet diese umfassende Sichtweise als *Embodiment*. Das Phänomen des *Embodiment* besteht darin, dass die Interaktion durch die Verkörperung zusätzlich an Bedeutung gewinnt. Als Basis der *Embodied Interaction* dient der Ansatz *Embodied Cognition*, der sehr stark durch die philosophischen Wurzeln motiviert worden ist. Denn Erkenntnisse aus der Kognitionswissenschaft belegen, dass ein starker Zusammenhang zwischen Denkprozessen, der Wahrnehmung sowie der körperlichen Fähigkeiten existiert (Dourish, 2001). Es wird davon ausgegangen, dass der Körper und seine Sensomotorik geistige Prozesse stark beeinflussen. Körper, Geist sowie Umwelt bilden dabei eine dynamische Einheit, in der kognitive Prozesse ablaufen. Dabei werden Aspekte der realen Welt wie Sprache und soziale Faktoren einbezogen. Hierbei finden tiefgreifende kognitive Prozesse in der menschlichen Informationsverarbeitung statt.

Dourish (2001) hat die Bedeutung des *Embodiment* untersucht und die Philosophie unter dem Begriff der *Embodied Interaction* auf die MCI übertragen. Die Verkörperung der Interaktion wird als eine Eigenschaft definiert, die durch die körperliche Auseinandersetzung mit der realen Welt entsteht. Dourish (2001) definiert den Begriff wie folgt:

“Embodied Interaction is the creation, manipulation, and sharing of meaning through engaged interaction with artifacts.” (S. 126)

Dem *Tangible Computing* und *Social Computing* schreibt Dourish (2001) das *Embodiment*-Phänomen zu. Die Ansätze beruhen in ihrer jeweils speziellen Art auf den Alltagserfahrungen mit der physischen und sozialen Welt. Dabei ist nicht die Technologie am wichtigsten, denn das Computing wird ausschließlich als Medium betrachtet. Das *Tangible Computing* ist von Norman (1983) im Bereich der MCI geprägt worden und beschreibt die wahrnehmbaren Objekteigenschaften mit deren Hilfe die Vermittlung möglicher Bedieneigenschaften stattfindet. Die Tangible User Interfaces (TUIs) sind im Bereich der MCI-Forschung Sinnbild für physisch wahrnehmbare Objekte. TUIs sind durch ihre hauptsächlich haptisch wahrnehmbaren Bedieneigenschaften gekennzeichnet und unterstützen eine reichhaltige Interaktion, da Sinnesorgane und körperliche Fähigkeiten des Menschen berücksichtigt werden. Mit den TUIs ist eine Form der Interaktion aufgekommen, die die digitale Informationsverarbeitung in die reale Welt integriert. Somit wird die reale materielle Welt um digitale Eigenschaften erweitert (Hornecker, 2008). Die gewohnten Interaktionsformen mit realen Artefakten bleiben dabei erhalten, können aber mit zusätzlichen Funktionen versehen werden. So ist einer der zentralen Punkte im Rahmen von *Tangible Computing* die *Affordance*, die ihren Ursprung in der Wahrnehmungspsychologie hat. Hierunter wird eine Beziehung zwischen Form und Funktion verstanden. Ishii und Ullmer (1997) sehen in der Interaktion von Mensch und Maschine ein nichtangepasstes Verhältnis. In der Desktop-Metapher werden die körperlichen Fähigkeiten und die damit verbundenen Sinne des Tastens und Greifens in der Realität auf Maus und Tastatur beschränkt. Die Mannigfaltigkeit der Alltagswelt im Hinblick auf die Interaktion mit Gegenständen geht gänzlich verloren (Hornecker, 2008). Um die menschlichen körperlichen Fähigkeiten bei der Interaktion zu unterstützen, empfehlen Ullmer und Ishii (2000), digitale Informationen durch physische Objekte zu verkörpern. Zur weiteren Förderung der natürlichen Form der Interaktion schlagen sie vor, diese physischen Objekte mit digitalen Funktionen anzureichern. Die richtige Balance physischer und digitaler Repräsentationen ist dabei entscheidend, um die Grenzen zwischen dem digitalen Datenraum und dem physischen Körperraum zu verwischen (Hannß, Lapczyna & Groh, 2012).

Im Kontext des *Embodiment* sind neben der Körperlichkeit die soziale Interaktion und Kommunikation von großer Bedeutung, die sich aus der zwischenmenschlichen Kommunikation ergeben. Prä-

gend für diese Form der Interaktion ist der Begriff *Social Computing*. Dabei wird nicht nur wie bei klassischen Vorgehensweisen bei der Gestaltung der Interaktion ein einzelner Arbeitsplatz beachtet, sondern es werden auch die soziale Interaktion und Kommunikation, die zwischen Menschen stattfindet, einbezogen (Dourish, 2001). Der Grundgedanke liegt darin, die Interaktion der Menschen zu verbessern.

Dourish (2001) definiert sechs übergeordnete Design-Prinzipien, wie die Interaktion gestaltet werden sollte: (1) *Computation is a medium*, (2) *Meaning arises on multiple levels*, (3) *Users, not designers, create and communicate meaning*, (4) *Users, not designers, manage coupling*, (5) *Embodied technologies participate in the world they represent*, (6) *Embodied interaction turns action into meaning*, und folgert für die Gestaltung von interaktiven Benutzungsschnittstellen die Berücksichtigung des Menschen mit seinen physischen und kognitiven Fähigkeiten und seinem sozialen Umfeld. Benutzungsschnittstellen, die nach den Paradigmen des *Tangible* und des *Social Computing* gestaltet werden, erfüllen genau diese Voraussetzungen, da die Sinnesorgane und körperlichen Fähigkeiten des Menschen berücksichtigt werden.

How Bodies Matter: Five Themes for Interaction Design

Basierend auf der *Embodied Interaction*, haben Klemmer et al. im Jahr 2006 den Beitrag *How Bodies Matter: Five Themes for Interaction Design* veröffentlicht. Die Autoren verallgemeinern die Konzepte der *Embodied Cognition* bezüglich der Interaktion mit physischen Objekten. Nach den Beobachtungen von Klemmer et al. (2006) werden in aktuellen Desktop-Systemen für jede Anwendung identische Interaktionsformen genutzt. Die Autoren möchten diesen einseitigen Interaktionsformen entgegenwirken, indem sie fünf Leitmotive zur Gestaltung von interaktiven Systemen definieren, die im Folgenden vorgestellt werden.

Das Prinzip *Thinking Through Doing* lehnt sich sehr stark an die *Embodied Cognition* an, indem körperliche und kognitive Fähigkeiten als eine Einheit betrachtet werden sollen. Ein Aspekt dieses Konzepts von Klemmer et al. (2006) ist das Lernen durch Handeln. Das bedeutet, dass die physische Interaktion mit Objekten die kognitive Entwicklung des Menschen fördert. Dieses generierte Wissen schafft neue Möglichkeiten, die Interaktionen an den Menschen anzupassen. Ein weiterer Gesichtspunkt ist die Berücksichtigung der Gestik. Sie ist ein essenzielles Kommunikationsinstrument von der frühen Kindheit bis ins Erwachsenenalter. Gestik unterstützt die Menschen beim Kommunizieren von Ideen, die schwer zu verbalisieren sind, und erleichtert damit die kognitive Belastung. Deswegen schlussfolgern Klemmer et al. (2006), dass Interaktionen, die die Gestik behindern, auch das Denken und die Kommunikation behindern. Ähnlich wie Dourish (2001) erwähnen die Autoren, dass die Menschen durch Berühren eines Gegenstands ein besseres Verständnis vom Objekt entwickeln. Analog zum Ansatz der *Embodied Interaction* kann nach Klemmer et al. (2006) durch den Einsatz von realweltlichen Objekten wie TUIs eine Verbindung zwischen der physischen und der virtuellen Welt geschaffen werden.

Im zweiten Prinzip – *Performance* – liegt die Konzentration auf den verschiedenen Modalitäten und den körperlichen Fähigkeiten des Menschen, die an der Interaktion mit Systemen beteiligt sind. Als eine Eingangsmodalität führen die Autoren die Hände auf, die mit zwei wesentlichen Körperfunktionen ausgestattet sind, dem Ausdruck und der Empfindung, die beispielsweise bei einer Greifbewegung nach einem Objekt genutzt werden. Dabei müssen unterschiedliche Funktionen wie das Aufbringen von Kraft und das Halten des Drucks während des Greifens eines Objekts genutzt werden. Analog zur *Embodied Cognition* weisen Klemmer et al. (2006) darauf hin, dass Körper und Geist in enger Verbindung stehen. So sind beispielsweise Chirurgen imstande, typische Handlungsschritte bis zur Perfektion zu entwickeln, da sie ihre tägliche Arbeit vorwiegend mit den Händen verrichten. Durch den sensomotorischen Speicher (oder das kinästhetische Gedächtnis) ist der Mensch in der Lage, anhand von Körperhaltung und Bewegung und durch den Einsatz von Muskelkraft entsprechende körperliche Aktionen abzuspeichern. Nach Klemmer et al. (2006) können

durch diese körperlichen Aktionen bei der Interaktion mit Benutzungsschnittstellen entsprechende Vorteile erreicht werden, wenn das motorische Gedächtnis einbezogen wird. Dabei kann der Mensch auf erlernte Fähigkeiten aus dem täglichen Leben zurückgreifen. Diese erlernten Fähigkeiten und Erfahrungen können einen entscheidenden Beitrag leisten, um die Interaktion effektiv zu gestalten.

Als dritter Gedanke spielt die *Visibility*, also die Sichtbarkeit, eine zentrale Rolle. Gerade durch das Beobachten im sozialen Kontext können die menschlichen Fähigkeiten erweitert werden. Der Lernprozess des Menschen ist wesentlich durch die Fähigkeit zur Nachahmung bestimmt. Vor diesem Hintergrund scheint die Interaktion per Maus, Tastatur und virtuellen Metaphern wenig förderlich für den Lernprozess zu sein, da sie dem Betrachter lediglich begrenzte Einblicke liefert, weil die Bewegung kaum einbezogen wird. Durch die Interaktion mit physischen Artefakten und die Zunahme der Körperbewegungen kann nach Klemmer et al. (2006) die Koordinierung am Arbeitsplatz zwischen den Menschen erleichtert werden und somit die Zusammenarbeit unterstützen. So können Menschen neben der gesprochenen Sprache auch nonverbal mit Körpersprache, Haltung und Gestik miteinander kommunizieren.

Das vierte der fünf Prinzipien – *Risk* – besagt, dass die körperlichen Aktionen mit Risiko behaftet sind, da die Ergebnisse von Handlungen in der realen Welt nicht mehr rückgängig gemacht werden können. In der Perspektive von Klemmer et al. (2006) ist dies der markanteste Unterschied zwischen digitalen und realen Interaktionsformen. Daher müssen Menschen sich für eine Option entscheiden, wobei die Folgen ihrer Aktion über die Zeit nicht vollständig absehbar sind. Aufgrund ihres Bewusstseins für körperliche Verletzlichkeit sind Menschen ständig auf Gefahren und Überraschungen vorbereitet. Wie auch bei physischen Aktionen kann ein falsches Verhalten bei einer sozialen Aktion nicht rückgängig gemacht werden. Daher erfordern Interaktionen in der realen Welt mehr Engagement und Vertrauen, um eine Aktion auszuführen. Im Gegensatz dazu bieten rechnerbasierte Systeme entsprechende Mechanismen, um dieses Risiko zu minimieren (z. B. mit rückgängigmachenden oder wiederherstellenden Funktionalitäten). Allerdings ist Risiko nicht immer eine negative Eigenschaft. Beispielsweise kann in der Gruppenarbeit das Risiko zu mehr Engagement von Teilnehmern führen. Je mehr Risiko eine Aufgabe birgt, desto eher neigen Menschen dazu, ein größeres persönliches Verantwortungsgefühl für ihre Handlungen zu entwickeln. Dies scheint eine Folge der Tatsache zu sein, dass Maßnahmen direkt sichtbar für andere Gruppenmitglieder sind. Daher kommen Klemmer et al. (2006) zu dem Schluss, dass die Sichtbarkeit der Auswirkungen der eigenen Handlungen das Gefühl der persönlichen Verantwortung für Entscheidungen erhöht. Eine weitere Eigenschaft, die vom Risiko beeinflusst wird, ist die Aufmerksamkeit während der Interaktion. Nach Klemmer et al. (2006) tendieren Menschen bei einem erhöhten Risiko dazu, fokussierter zu sein. Die Autoren kommen daher zu dem Schluss, dass Risiko und Aufmerksamkeit eng miteinander verbunden sind und gezielt bei der Gestaltung von interaktiven Systemen betrachtet werden sollten.

Im fünften Leitbild – *Thick Practice* – wird von Klemmer et al. (2006) die Umwandlung von physischen Handlungen in digitale Aktionen beschrieben. Bei der Gestaltung von interaktiven Systemen, die sich an realweltliche bzw. physische Objekte anlehnen, muss die Funktionalität der Konzepte wohlbedacht angepasst werden. Nur die sorgfältige Integration der Artefakte der physischen und digitalen Welt bietet einen Mehrwert für die Interaktion. Dieser Ansatz wird auch von Jacob et al. (2008) in den Gestaltungsebenen der *Reality-based Interaction* verfolgt, der im nächsten Abschnitt beschrieben wird.

Die fünf Leitprinzipien von Klemmer et al. (2006) zeigen analog zu den Arbeiten von Dourish (2001), wie *Embodiment* und Interaktion mit physischen Objekten das Leben eines Menschen vom Kindesalter an begleiten. Der Forschungsbeitrag stellt neue Erkenntnisse auf eine praktische Art und Weise vor.

Reality-based Interaction

Jacob et al. haben im Jahr 2008 auf der Basis von Erkenntnissen der Kognitionspsychologie, des *Tangible Computing* (Ishii & Ullmer, 1997; Ullmer & Ishii, 2000) und des *Social Computing* ein Framework zur Gestaltung von realitätsbasierten Benutzungsschnittstellen abgeleitet. Jacob et al. (2008) haben den Trend neuer Interaktionsformen untersucht und festgestellt, dass diese sich im Wesentlichen dadurch auszeichnen, dass sie das menschliche Vorwissen und die natürlichen Fähigkeiten unterstützen. Ziel der *Reality-based Interaction* mit den vier Gestaltungsprinzipien ist es daher, die Interaktion zwischen Mensch und Maschine an der realen Welt zu orientieren (siehe Abbildung 26). Damit können erlernte und evolutionsbedingte Charakteristika des Menschen dazu genutzt werden, um Interaktion (be)greifbarer zu gestalten. Der Begriff *Reality* bezieht sich auf die nichtdigitale Welt, in der Menschen das Vorwissen und die Fähigkeiten erworben haben und alltäglich anwenden. Es werden im Framework die Interaktion in der realen Welt (*in the real world*) und die Interaktion, die die reale Welt imitiert (*like the real world*), betrachtet. Die Interaktion in der realen Welt orientiert sich verstärkt an computergestützten physischen Artefakten wie TUIs. *Like the real world* beinhaltet den Wissenstransfer der realen in die digitale Welt.

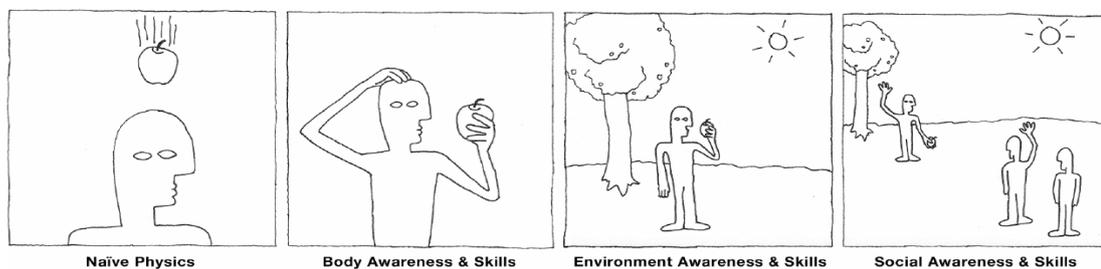


Abbildung 26 Die vier Gestaltungsebenen der Reality-based Interaction

Jacob et al. (2008) beschreiben vier Themes of Reality, um die holistischen menschlichen Fähigkeiten bei der Gestaltung von interaktiven Benutzungsschnittstellen zu berücksichtigen.

Naïve Physics – Dieses Prinzip beschreibt das menschliche Verständnis von grundlegenden physikalischen Phänomenen. Bereits in sehr jungen Jahren eignen sich Kleinkinder Wissen durch ihre physische Umgebung an (vgl. Klemmer et al., 2006). So umfasst das Gestaltungsprinzip beispielsweise das Grundverständnis von Gravitation, Geschwindigkeit oder die Größenverhältnisse zwischen verschiedenen Objekten der realen Welt. Im Sinne der *Reality-based Interaction* sollte das Alltagsverständnis über physikalische Gegebenheiten daher beim Entwurf von Benutzungsschnittstellen berücksichtigt werden. Benutzungsschnittstellen können das Phänomen metaphorisch nachahmen oder tatsächlich instanzieren. Anhand von Metaphern kann der Eindruck von Trägheit und Schwerkraft vermittelt werden, während mittels TUIs die physischen Merkmale real zum Ausdruck gebracht werden können. Während bei der Visualisierung von Metaphern die physikalischen Phänomene lediglich nachvollzogen werden können, können die TUIs auch sensorisch physisch vom Menschen wahrgenommen werden.

Body Awareness & Skills steht für die körperlichen Fähigkeiten und das Körperbewusstsein der Menschen zur Selbstwahrnehmung von Körperbewegung und -lage im Raum (Propriozeption) (vgl. Dourish, 2001). Das Körperbewusstsein hängt mit der Erfahrung und dem Verständnis vom eigenen Körper (z. B. relative Position der Extremitäten) ab. Folglich sollen die in der realen Welt angewandten und erlernten motorischen und koordinativen Fähigkeiten des Menschen für die Gestaltung von nutzerzentrierten Benutzungsschnittstellen berücksichtigt werden (vgl. Klemmer et al., 2006).

Environment Awareness & Skills – Diese Ebene bezieht das räumliche Bewusstsein des Menschen bezüglich seiner Umwelt ein. In der realen Welt hat der Mensch eine physische Präsenz in seiner

räumlichen Umgebung. Natürliche Hinweise wie der Horizont, der ein Richtungsgefühl vermittelt, und auch Nebel, Licht und Schatten, die auf Tiefe hindeuten, vereinfachen die Orientierung und führen zu einem besseren Raumverständnis (Bowman, Kruijff, LaViola & Poupyrev, 2004). Nach Jacob et al. (2008) können die menschlichen Fähigkeiten im Umgang mit physischen Objekten wie das Aufnehmen, Positionieren und Anordnen direkt in die Interaktion einbezogen werden. Neue Interaktionsformen wie TUIs nutzen das bereits, indem sie es ermöglichen, Objekte durch Greifen auszuwählen und zu verschieben. Einige dieser Objektmanipulationen haben darüber hinaus Interaktionsqualitäten, die sich auch auf die Ebene der *Naïve Physics* und der *Body Awareness & Skills* zurückführen lassen. Zudem können durch die Berücksichtigung von Körperposition und Blickrichtung des Menschen Informationen entsprechend angepasst angezeigt werden (Bellotti et al., 2002; Benford et al., 2005).

Social Awareness & Skills steht für die Beachtung der sozialen Fähigkeiten der Interaktion und Kommunikation des Menschen. Dabei sind sich die Menschen stets der Anwesenheit anderer Personen bewusst. Der Mensch entwickelt in diesem Zusammenhang Fähigkeiten der sozialen Interaktion, die verbale und nonverbale Formen der Kommunikation einschließt. Somit fördert die Unterstützung der sozialen Interaktion und Kommunikation die Zusammenarbeit zwischen den Menschen. Mit der Unterstützung von physischen Objekten, wie sie TUIs ermöglichen, kann beispielsweise die Zusammenarbeit gestärkt werden.

Jacob et al. (2008) nehmen an, dass die mentale Beanspruchung bei Interaktion, die das Vorwissen und die Fähigkeiten einbezieht, reduziert werden kann. Dabei sollen die nach den Prinzipien der *Reality-based Interaction* gestalteten Benutzungsschnittstellen mit digitalen Funktionen angereichert werden, die in dieser Ausprägung nicht in der realen Welt vorkommen. Um geeignete Konzepte entwerfen zu können, muss eine wohlbedachte Balance zwischen der realen Welt und den digitalen Funktionalitäten geschaffen werden. Jacob et al. (2007) erläutern im Forschungsbeitrag *A Framework for Post-WIMP Interfaces* die Dimension der digitalen (*Power*) und der realen (*Reality*) Welt (siehe Abbildung 27).

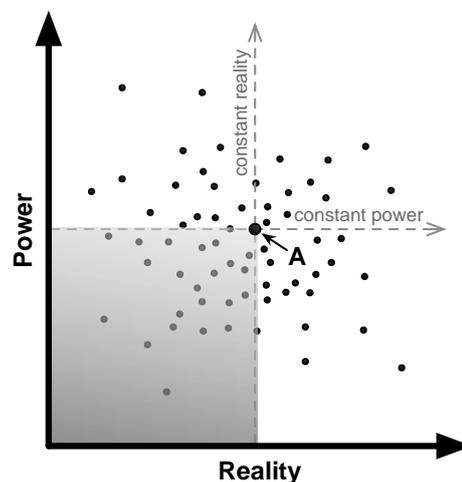


Abbildung 27 Darstellung der Dimensionen Power vs. Reality

Das Modell der scheinbar gegenläufigen Dimensionen zeigt die Möglichkeiten, wie die digitale Welt mit den realweltlichen Qualitäten vereint werden kann (Jacob et al., 2007).

Jede dieser Dimensionen hat ihre individuellen Vorzüge. Die digitale Welt ermöglicht eine entsprechend hohe Verarbeitungskapazität von Daten. Im Gegensatz dazu ist die reale Welt von natürlichen Interaktionsformen geprägt. Jacob et al. (2007) bezeichnen die scheinbar gegensätzlichen Dimensionen als *Power vs. Reality Tradeoff*. Die Grundsätze der *Naïve Physics* können in der digitalen Welt bei der Gestaltung von Benutzungsschnittstellen bewusst minimiert oder gänzlich aufgehoben

werden. Die so entstehenden Interaktionskonzepte, die sich dadurch nicht ihren natürlichen Eigenschaften gemäß verhalten, können jedoch zu einem sog. *Multiplier Effect* führen (Jacob et al. 2007, 2008). Dabei wird bewusst der Einsatz von digitalen Funktionen verstärkt, um eine effiziente Interaktionsform zu gestalten. Für eine nutzerzentrierte Form der Interaktion gilt es, eine sinnvolle Vermischung der realen und digitalen Welt herzustellen. Die Anforderungen legen letztlich die Balance zwischen *Power* und *Reality* fest, d. h., sie definieren den Grad der Dimension *Power*. Jacob et al. (2008) nennen in Bezug auf diese Dimension sechs beispielhafte Kategorien: *Expressive Power*, *Efficiency*, *Plasticity*, *Ergonomics*, *Accessibility* und *Practicality*. So kann es durchaus sein, dass eine Interaktionsform, die sich zu stark an den *Naïve Physics* orientiert, nicht effizient, ergonomisch oder praxistauglich ist. *Reality-based Interaction* fordert daher nicht die völlige Nachahmung der Realität, vielmehr muss stets die spezielle Designanforderung im jeweiligen Kontext berücksichtigt werden, was letztlich immer eine sorgfältige Abwägung der Anteile von *Power* und *Reality* erfordert.

Conceptual Blending

Der von Fauconnier und Turner (2002) geprägte Begriff des *Conceptual Blending* ist eine Theorie, mit der sich die Probleme der zu einfachen metaphorbasierten Gestaltungsansätze lösen lassen. Der Ansatz schildert einen unbewussten Vorgang, der tief im alltäglichen Denken des Menschen und im Sprachgebrauch verankert ist. Beim Design von interaktiven Benutzungsschnittstellen werden meist Metaphern verwendet, um so die Vorerfahrungen und Fertigkeiten bei der Interaktion zu berücksichtigen und die schnelle Generierung eines kognitiven Modells zu unterstützen. Der zu simple Einsatz von Metaphern kann zu falschen Schlüssen beim Menschen führen (Imaz & Benyon, 2007). Die häufigste Fehlerquelle ist ein direktes 1:1-Projizieren der Strukturen einer vertrauten Domäne und deren Einfluss auf eine neue Domäne (z. B. realistische 1:1-Abbildung eines Formulars auf eine digitale Benutzungsschnittstelle). Die rasche Vertrautheit führt zur Vernachlässigung von *Multiplier Effects* (vgl. Jacob et al., 2007, 2008). Das wiederum hat bei ständiger Nutzung eine Verschwendung kognitiver Ressourcen zur Folge. Nach neueren Erkenntnissen im Bereich der Kognitionspsychologie und Linguistik kann das menschliche Gehirn mit seinen Denkstrukturen optimal mit indirekten Projektionsformen (*Conceptual Blending*) umgehen. Dabei sind die Basis für den Denkprozess Projektionen zwischen *Input Spaces*, *Generic Space* und *Blended Space* (siehe Abbildung 28).

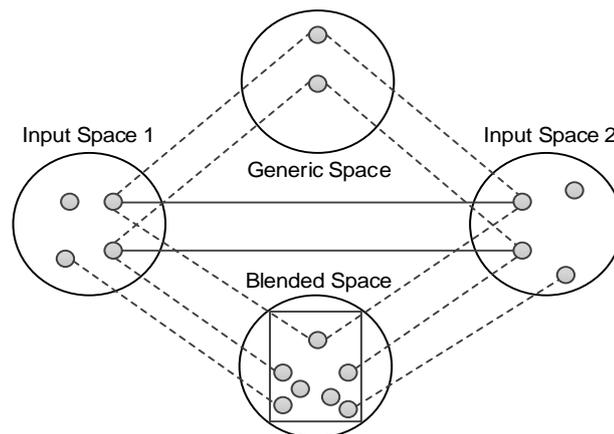


Abbildung 28 Schematische Darstellung des Conceptual Blending

Die Konzepte der beiden Input Spaces werden miteinander vereinigt, dabei kommt es zu Merkmalsüberschneidungen, was zu einem neuen Konzept (Blend) mit emergenten Eigenschaften führt. Zitiert nach Schwarz, Butscher, et al. (2013), Original in Imaz und Benyon (2007)

Die Projektionen basieren auf dem generischen Bereich (*Generic Space*). Der *Generic Space* gründet auf abstrakten Strukturen, die Menschen zeitlebens erlernt bzw. ererbt haben. Dieser stellt damit das

Alltagsverständnis dar (beispielsweise: dass Objekte zueinander in Beziehung stehen können). Nur bei ausreichender Überschneidung der *Input Spaces* im Hinblick auf elementare Eigenschaften, d. h. des *Generic Space* (vgl. *Image-Schemata* nach Hurtienne & Israel, 2007), kann durch das Projizieren der verschiedenen Strukturen und Eigenschaften eine neue hypothetische Domäne, der sog. *Blended Space*, entstehen. Es lassen sich somit neuartige Konzepte mit emergenten Eigenschaften im *Blended Space* ableiten. Diese Eigenschaften mit ihren Merkmalsausprägungen finden sich nicht in den Ursprungsdomänen. Der *Blended Space* stellt sich als eine künstlich geschaffene Welt dar. In diesem Bereich kann der Mensch an seine erworbenen Erfahrungen und Fähigkeiten anknüpfen und sich neuartige Strukturen und Funktionalitäten zunutze machen. Somit kann als konzeptionelles Werkzeug für das Design von interaktiven Benutzungsschnittstellen das *Conceptual Blending* angewendet werden.

Nach Imaz und Benyon (2007) führen *Blends* zu neuen Ideen und Sichtweisen, um sowohl den Anforderungen der zuvor beschriebenen *Five Themes for Interaction Design* (Klemmer et al., 2006) als auch der *Reality-based Interaction* (Jacob et al., 2007, 2008) gerecht zu werden.

Blended Interaction

Ziel des konzeptionellen Frameworks *Blended Interaction* ist die Förderung einer nutzerzentrierten Umsetzung realitätsbasierter Benutzungsschnittstellen. Im Gegensatz zur *Reality-based Interaction* werden verstärkt die gesammelten Erfahrungen und Erkenntnisse im Umgang mit Artefakten aus der digitalen Welt in die Interaktion einbezogen (Jetter et al., 2012, 2013). Dabei sollen die kognitiven, physischen und sozialen Fähigkeiten gleichwertig bei der Interaktion mit Benutzungsschnittstellen berücksichtigt werden. In Anlehnung an die *Reality-based Interaction* werden zwei grundsätzliche Fragen behandelt: *“What is real in a digital world?”* und *“How to find good analogies?”*

In Bezug auf die erste Fragestellung dürfen nach Jetter et al. (2012) neue Interaktionstechnologien oder Konzepte der digitalen Welt nicht aus der Realität ausgeschlossen werden. Heute sind digitale Technologien wie die Gesteninteraktion Zoomen und Pannen auf dem Smartphone integrale Bestandteile des alltäglichen Lebens. Diese Gesten sind allgegenwärtig im Umgang mit interaktiven mobilen Endgeräten, aber nicht in der realen Welt. Das zeigt, dass sich bei der Gestaltung von interaktiven Systemen reale und digitale Konzepte gegenseitig ergänzen können und sich daher nicht gegenseitig ausschließen dürfen. Das bedeutet, dass die beiden Konzepte nicht voneinander getrennt betrachtet werden sollten, sondern vielmehr ergänzende Charakteristika haben müssen. Somit verfolgt das Framework das Ziel, die Interaktion am Leitbild der *Reality-based Interaction* (Jacob et al., 2007, 2008) zu orientieren. Dabei werden unterschiedliche Endgeräte im Sinne der Konzepte des *Ubiquitous Computing* (Weiser, 1993) in die Interaktion einbezogen. Neben dem sehr pragmatischen Ansatz der *Reality-based Interaction*, der kein theoretisch fundiertes Werkzeug zur Gestaltung von Benutzungsoberflächen beinhaltet, werden innerhalb der *Blended Interaction* die Ideen des *Conceptual Blending* (Fauconnier & Turner, 2002; Imaz & Benyon, 2007) verfolgt, um die zweite Fragestellung zu beantworten. Das *Conceptual Blending* wird dabei als konzeptionelles Werkzeug eingesetzt, um die Weiterentwicklung von Metaphern in Form von *Blends* strukturell zu nutzen. Nach Jetter et al. (2013) ist für die Gestaltung interaktiver Systeme die ganzheitliche Betrachtungsweise essenziell. Somit wird im Sinne der Ganzheitlichkeit die Interaktion in vier unterschiedlichen Gestaltungsebenen (siehe Abbildung 29) betrachtet, die im Folgenden beschrieben werden.

Persönliche Interaktion – Eine intuitive Bedienung kann erreicht werden, indem die Alltagserfahrungen im Umgang mit Objekten in die Interaktion einbezogen werden. Diese Gestaltungsebene steht in enger Verbindung zur Wahrnehmung. Somit sollte die Benutzungsschnittstelle so gestaltet werden, dass die sinnlich-körperliche Wahrnehmbarkeit gefördert wird. Hierbei kann auf die ersten drei Gestaltungsebenen der *Reality-based Interaction* (*Naïve Physics*, *Body Awareness & Skills* und *Environmen-*

tal Awareness & Skills) verwiesen werden. Eine entscheidende Rolle spielen dabei die theoretischen Erkenntnisse aus dem Gebiet der Kognitionspsychologie (*Embodied Cognition*).



Abbildung 29 Die vier Dimensionen der Blended Interaction

Der ganzheitliche konzeptionelle Designansatz mit seinen vier Gestaltungsebenen nimmt Bezug auf das Paradigma der Post-WIMP-Interaktion (Jetter et al., 2012).

Soziale Interaktion & Kommunikation – In dieser Gestaltungsebene sollte vor allem die *Social Awareness & Skills* der *Reality-based Interaction* berücksichtigt werden. Hier kann beispielsweise die soziale Kommunikation durch Interactive Tabletops unterstützt werden. Der Einsatz der Technologie ermöglicht eine synchrone und gleichberechtigte Form der Interaktion der beteiligten Benutzer, in der soziale Konventionen unmittelbar berücksichtigt werden. In der sozialen Interaktion und Kommunikation kann technologisch sowie theoretisch auf umfassende Arbeiten aus dem Forschungsbereich der CSCW (vgl. Ellis et al., 1991) verwiesen werden.

Workflow – Es geht im Rahmen dieser Ebene um die Verbesserung von organisatorischen Abläufen durch den Einsatz von computergestützter Informationstechnologie. Da die Arbeitsweisen von Organisationen häufig hoch dynamisch sind, müssen entsprechende Arbeitsprozesse nahtlos ineinandergreifen. Das betrifft beispielsweise den Wechsel zwischen Gruppenarbeit und Einzelarbeit oder nahtlose Übergänge vom Arbeiten mit realen Artefakten wie Papier hin zu digitalen Systemen. Denn im Umfeld von komplexen technischen Prozessen wird häufig nicht nur individuell, sondern in unterschiedlichen Teams zusammengearbeitet.

Physische Arbeitsumgebung – Die abschließende Gestaltungsebene umfasst das Anpassen der Architektur. Dabei werden Tische, Stühle, Wände bis hin zu Ton und Licht auf die neuen Formen der Interaktion und Kommunikation abgestimmt. Ein- und Ausgabemedien werden ebenfalls den räumlichen Gegebenheiten entsprechend optimiert (z. B. gebogene Displays).

Im Sinne einer holistischen Gestaltung der Arbeitsumgebung von Operatoren erweisen sich die Gestaltungsebenen der *Blended Interaction* für das Leitwartenszenario als gleichermaßen relevant. Im Ansatz der *Blended Interaction* wird deutlich, dass eine neue Qualität der Interaktion nur erreicht wird, wenn alle Ebenen gleichzeitig in die Gestaltung der Interaktion einbezogen werden.

Zusammenfassung und Implikation

Die vorgestellten Designansätze erläutern allesamt (be)greifbare Interaktionsformen. Dabei kommt es zur Vermischung von der realen mit der digitalen Welt. In der *Embodied Interaction* von Dourish (2001) wird der Geist nicht nur isoliert vom Körper betrachtet. Sondern auch der Körper und seine Sensomotorik können die geistigen Prozesse des Menschen beeinflussen. Die Beziehung zwischen Geist und Körper der Menschen und deren Umwelt werden als dynamisches System beschrieben. Mögliche Interaktionsformen, die die *Embodied Interaction* unterstützen, sind das *Tangible* und *Social Computing*.

Basierend auf dem phänomenologischen Ansatz der *Embodied Interaction*, stellen Klemmer et al. (2006) in ihren fünf Leitprinzipien einen sehr praxisnahen Ansatz zur Gestaltung von realweltlichen Interaktionsformen vor. Nach Klemmer et al. (2006) besteht eine enge Verbindung zwischen den menschlichen Denkstrukturen und den motorischen Aktionen. Der Mensch kann mit Hilfe kinetischer und motorischer Denkprozesse die Bewegungsmuster und die Position der Muskulatur er-

kennen, abspeichern und bei Bedarf abrufen. Der kreative Prozess des Denkens wird nicht gefördert, wenn sowohl die Gesten als auch die Bewegungsmöglichkeiten vom Menschen eingeschränkt werden. Die Integration und das Zusammenspiel von digitalen sowie physischen Artefakten müssen nach Ansicht der Autoren in einer wohlbedachten Designentscheidung getroffen werden.

Die *Reality-based Interaction* von Jacob et al. (2007, 2008) ist ein Gestaltungsframework für Benutzungsschnittstellen, das empfiehlt, das Vorwissen und die angeborenen Fähigkeiten in die Gestaltung einzubeziehen. In der Ebene der *Naïve Physics* wird beschrieben, dass bereits frühkindlich ein Grundverständnis von physikalischen Phänomenen im Umgang mit Objekten wie Gravitation erlernt wird. Gerade durch das Einbeziehen der Gestaltungsebenen der *Naïve Physics* und der *Body Awareness & Skills* wird das *subjektivierende* Arbeitshandeln gefördert, wie es beispielsweise in früheren Leitwartengenerationen üblich gewesen ist. Die Gestaltung der Arbeitsumgebung sollte allerdings nicht nur auf die Mensch-Maschine-Interaktion beschränkt werden. Die Kommunikation, die Workflows und die Gestaltung des physischen Arbeitsumfelds sollten gleichermaßen beachtet werden. Dabei spielt auch die körperliche Präsenz des Operators in Bezug auf seine Umwelt eine große Rolle, was durch die *Environment Awareness & Skills* übermittle wird, um entscheidungs- und handlungsrelevante Informationen generieren zu können. Die soziale Interaktion und Kommunikation wird auch in der vierten Gestaltungsebene *Social Awareness & Skills* behandelt. Die Verständigung kann auf unterschiedliche Art und Weise stattfinden, z. B. durch verbalen oder schriftlichen Austausch von Informationen oder in Form einer nonverbalen Kommunikation. Neben den vier Gestaltungsebenen stellen Jacob et al. (2007) zwei Dimensionen vor, um die Möglichkeiten der digitalen Welt mit den realweltlichen Qualitäten zu ergänzen. Dabei müssen jeweils die Vorzüge der zunächst widersprüchlichen Dimensionen der realen Welt (*Reality*) und der digitalen Informationsverarbeitung (*Power*) betrachtet werden, um einen Mehrwert für eine verbesserte Interaktion abzuleiten. Diese Dimensionen bieten Orientierungshilfe für die Gestaltung von Benutzungsschnittstellen, die die menschlichen Fähigkeiten berücksichtigen.

Der Ansatz des *Conceptual Blending* (Fauconnier & Turner, 2002; Imaz & Benyon, 2007) stellt ein konzeptionelles Werkzeug für das Design von interaktiven Benutzungsschnittstellen dar. So sind *Blends*, die auf zwei *Input Spaces* basieren, ein Ergebnis der Verschmelzung von Eigenschaften aus der realen und der digitalen Welt. Nach Imaz und Benyon (2007) führt die Methode, die nicht nur ein Erklärungsansatz ist, sondern auch eine Erläuterung für die Ausgestaltung von Interaktionskonzepten bietet, zu neuen Sichtweisen und Ideen während des Designprozesses in frühen Phasen.

Das konzeptionelle Designframework der *Blended Interaction* nach Jetter et al. (2012) basiert auf den vorgestellten Gestaltungsansätzen. Durch die vier Gestaltungsebenen ermöglicht das Framework eine holistische Betrachtungsweise für die Gestaltung von interaktiven Benutzungsschnittstellen. Es grenzt sich aber zur *Reality-based Interaction* ab, indem die Realität als dynamischer Prozess angesehen wird. Demnach werden nicht nur erlernte Eigenschaften und Konzepte aus der Realität, sondern auch solche, die durch den Umgang mit vertrauten digitalen Technologien erworben worden sind, berücksichtigt. Denn nach Jetter et al. (2013) kann der Mensch realweltliche und digitale Konzepte mental verinnerlichen. Gerade im Kontext der vorliegenden Arbeit mit dem Ziel, eine ganzheitliche Arbeitsumgebung für den Operator zu schaffen, bietet das Designframework der *Blended Interaction* mit seiner holistischen Betrachtung in den vier Ebenen *persönliche* und *soziale Interaktion*, *Workflow* und *physische Arbeitsumgebung* großes Potenzial, um die Tätigkeiten der Operatoren zu unterstützen.

4.2.2 Verwandte Arbeiten im Leitwartenkontext

In diesem Abschnitt werden einige Anwendungsszenarien aus unterschiedlichen Leitwarten präsentiert und diskutiert. Die Forschungsbeiträge zeigen neue Interaktionsformen speziell durch den Einsatz von interaktiven Displays auf. So werden neben dem Einsatz von physischen Objekten bei der Interaktion auch unterschiedliche Displayvarianten aufgabenspezifisch eingesetzt.

Einsatzplanung des Technischen Hilfswerks

Das Projekt von Nebe, Klompaker, Jung und Fischer (2011) hat die Zielsetzung, durch eine direkte Interaktion die Einsatzlageplanung des Technischen Hilfswerks (THW) zu unterstützen. Auf Basis einer Anforderungsanalyse (siehe Abbildung 30a), die mit Experten erstellt worden ist, sind die Konzepte prototypisch umgesetzt worden.

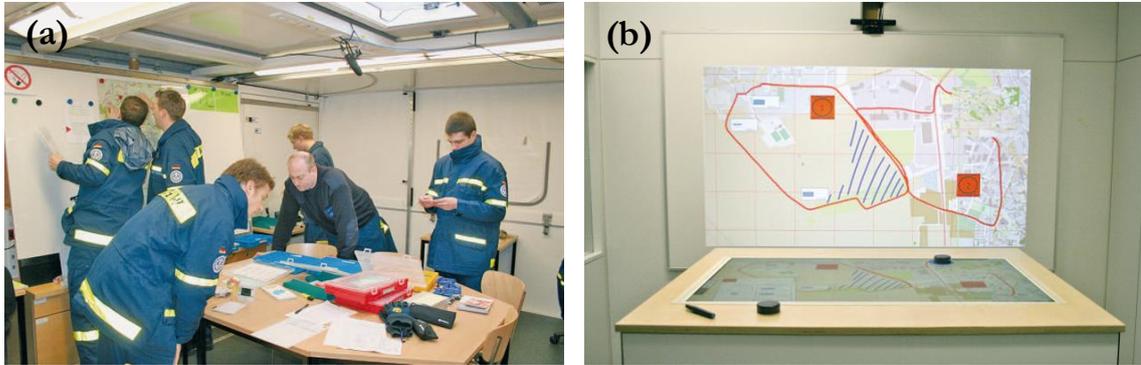


Abbildung 30 (Be)greifbare Interaktion am Beispiel des THW

(a) Aktueller Raum zur Einsatzlageplanung; (b) Interactive Tabletop als horizontales Display und Wandprojektion als vertikales Display (Nebe, 2010)

Dabei soll durch den Einsatz von Interactive Tabletops und der stiftbasierten Interaktion eine Effektivitätssteigerung bei der Einsatzplanung erreicht werden. So wird neben der Finger- oder Objektinteraktion durch Tangibles auch die Anoto¹⁸ Digital-Pen-Technologie verwendet. Derzeit wird die Lageplanung des THW durch papierbasierte Karten auf Wänden und Tischen dargestellt. Die aktuellen Ereignisse, z. B. überflutetes Gebiet, werden in sog. Schadenskonten eingeteilt und entsprechend auf der Karte visualisiert, um die Einsatzkräfte gezielt an den Krisenorten einzusetzen. Wie Abbildung 30b verdeutlicht, ist der Lageplan auf ein 55“ großes Interactive Tabletop mit horizontaler Ausrichtung übertragen worden, um die Einsatzplanung mit mehreren Operatoren zu koordinieren. Auf der zusätzlichen vertikalen Projektionsfläche wird der Ist-Zustand der aktuellen Lage visualisiert. Die Ansichten können je nach Anwendungskontext zwischen den Anzeigeflächen getauscht werden. Die Karteninteraktion wie die Skalierung oder Rotation ist nur mit Hilfe von Tangibles möglich, da das System von mehreren Nutzern gleichzeitig verwendet wird. Somit erkennt das Team durch die *visuelle Affordance* der Tangibles, welche Person die Interaktion in der Kartendarstellung vollziehen kann. Die Karte wird entsprechend durch das Verschieben des Tangible nachgezogen. Eine Vergrößerung und Verkleinerung sind durch eine Drehbewegung realisiert worden. Ein weiterer Vorteil der Digitalisierung des Kartenausschnitts ist, dass das Wechseln zwischen unterschiedlichen Kartentypen, z. B. von einer Straßenkarte zu einem aktuellen Satellitenbild, ermöglicht wird. Die Lagepläne können bei Bedarf jederzeit direkt per Stifteingabe annotiert werden. Die handschriftlichen Eingaben werden sofort digitalisiert und beispielsweise in Text umgewandelt.

Überwachung der Infrastruktur von Versorgungsnetzen

Selim und Maurer haben im Jahr 2010 das Projekt *eGrid* zur Überwachung der Infrastruktur von Versorgungsnetzen vorgestellt. Dabei werden die eingehenden Störmeldungen sowohl in einer Satelliten- als auch in einer Straßenkarte abgebildet. Die Visualisierung der Karten erfolgt auf einem Interactive Tabletop. Der Fokus dieser Forschungsarbeit liegt auf der Visualisierung und Interaktion mit geografischen Kartendarstellungen. Mit Hilfe von frei drehbaren und zoombaren Karten-

¹⁸ <http://www.anoto.com>, zuletzt aufgerufen am 12.04.2014.

ausschnitten können sich die Operatoren einen Überblick über die Netze verschaffen (siehe Abbildung 31a).

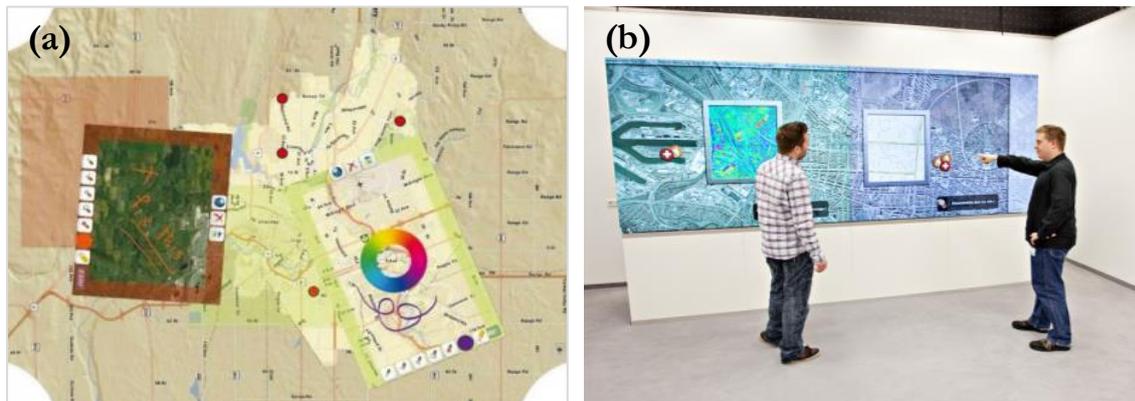


Abbildung 31 Benutzungsschnittstelle von eGrid und Smart Control Room

(a) Zwei unterschiedliche Detailausschnitte zeigen das Satellitenbild (brauner Rahmen) und die Straßenkarte (grüner Rahmen) vergrößert. In der Übersicht sind die Störmeldungen direkt mit roten Punkten in den Kontext integriert (Selim & Maurer, 2010). (b) Der Raum ist 6 x 8 Meter groß und ist mit einer 4 x 2 Meter großen Rückprojektionswand ausgestattet (Geisler & Stiefelhagen, 2010).

Die Operatoren können sich auf der Übersichtskarte detaillierte Ausschnitte mit neuralgischen Punkten, die mit eingehenden Störmeldungen verbunden sind, anzeigen lassen. Die integrierten Störmeldungen auf der Übersichtskarte werden durch farblich codierte Punkte direkt im Kontext dargestellt. Zum einen werden zu den Störmeldungen eine detaillierte Ansichtskarte und zum anderen eine textuelle Beschreibung der Problemursache angezeigt. Ferner können auch beliebig detaillierte Ausschnitte durch direktes Anwählen mit zwei Fingergesten, die den Ausschnitt markieren, definiert werden. Das Konzept sieht vor, dass sich die Operatoren mehrere Detailbereiche definieren können. Die Ausschnitte ähneln einer Linse und können per *Drag & Drop* auf der Übersichtskarte verschoben werden. Wird innerhalb der Linse der Kartenausschnitt verrückt, so verschiebt sich auch der Fokus auf der Übersichtskarte. Die Fokusse sind mit der Linse zusammenhängend farblich codiert, um so eine eindeutige Zuordnung zu gewährleisten. Die Größe der farbcodierten Fokusse passt sich dynamisch der Zoomstufe auf der Übersichtskarte an. Ein Menü, das in den Rand der Linsen integriert ist, unterstützt eine Annotation mit unterschiedlichen Farben mittels Zeichenfunktion per Finger. Im Menü kann auch für den jeweiligen Ausschnitt zwischen Satelliten- und Straßensicht analog zum Projekt des THW von Nebe et al. (2011) gewechselt werden. Die Autoren geben an, dass das Konzept sowohl für Transportunternehmen als auch für die Flughafenüberwachung herangezogen werden kann.

Smart Control Room

Von Geisler und Stiefelhagen ist im Jahr 2010 das Projekt *Smart Control Room* vorgestellt worden, das die Zielsetzung verfolgt, eine intelligente Arbeitsumgebung für Operatoren zu gestalten (siehe Abbildung 31b). Im Gegensatz zu den bisher vorgestellten Ansätzen liegt der Fokus darauf, den kompletten physischen Raum in die Interaktion mit dem Operator einzubeziehen. Der interaktive Raum ist mit hochauflösenden Wanddisplays und Kameras zur Detektion der Menschen sowie mit Mikrofonen ausgestattet. Durch das Tracking der Kameras können dem Operator personalisierte Elemente angezeigt werden, die durch Gesteninteraktion gesteuert werden können. Darüber ortet das System, welche Menschen aktiv zusammenarbeiten, und passt die Informationen entsprechend für die Zusammenarbeit an. Über die Gesichtserkennung durch die Kameras werden die Personen identifiziert. Bewegt sich beispielsweise ein Operator zu einem anderen Wanddisplay, wird die In-

formation dynamisch angepasst und auf dem jeweiligen Displaybereich anzeigt, d. h., die Informationen auf dem Display folgen dem Operator in der Arbeitsumgebung.

Einsatzleitsystem der Polizei

Ziel des Projekts, das in Zusammenarbeit mit der Polizei von Umeå durchgeführt worden ist, ist die Neugestaltung einer Benutzungsschnittstelle eines Einsatzleitsystems zur Koordination der Betriebsmittel wie Einsatzfahrzeuge (Johansson, Gokce Bor, Kreiser & McLellan, 2012; Johansson, 2012). Abbildung 32a zeigt die derzeitige Arbeitsumgebung.

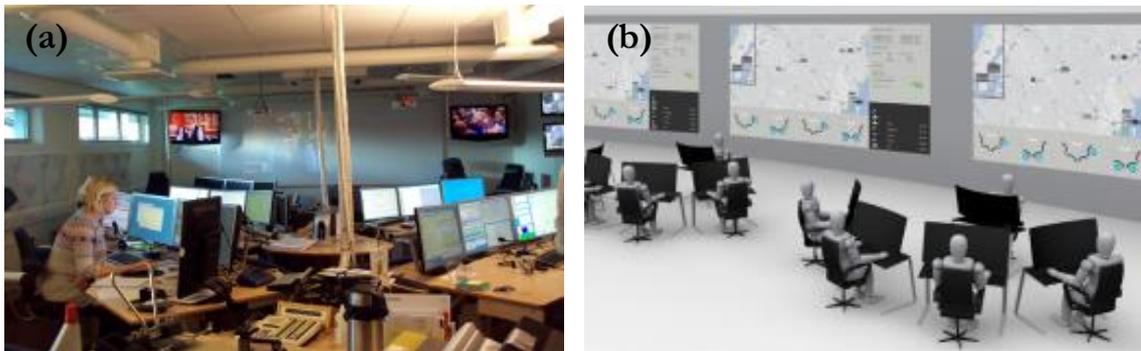


Abbildung 32 Derzeitige und zukünftige Arbeitsumgebung des Einsatzleitsystems der Polizei

(a) Aktuelle Arbeitsplätze des Einsatzleitsystems der Polizei in Umeå (Schweden); (b) Vision der neuen physischen Arbeitsumgebung (Johansson, 2012)

Neben der Benutzungsschnittstelle soll auch die physische Arbeitsumgebung, z. B. durch den Einsatz von gebogenen Displays und die Anordnung der Arbeitsplätze, optimiert werden. Wie bereits zuvor im Projekt des THW ist auch hier eine Analyse des Nutzungskontexts mit den Methoden der teilnehmenden Beobachtung und des Experteninterviews vorgenommen worden. Abbildung 32b zeigt eine Konzeptstudie, wie die Arbeitsplätze (*Private Space*) als Insellösung vor den großen Wanddisplays angeordnet werden können. Dabei haben die Operatoren zum einen Augenkontakt mit dem Schichtleiter und zum anderen einen freien Blick auf das große Wanddisplay. Dem Schichtleiter bleibt allerdings der Blick auf die großen Wanddisplays verwehrt. Die im Folgenden vorgestellten Konzepte für die persönlichen Arbeitsplätze sind anhand von papierbasierten Prototypen mit Aufprojektion realisiert worden (siehe Abbildung 33a).



Abbildung 33 Konzept mit gebogenem Display und Kommunikationspuck

(a) Arbeitsumgebung des Operators mit interaktivem gebogenem Display und Kommunikationspuck; (b) Detaildarstellung vom Kommunikationspuck zur Annahme und Koordination von Anrufen (Johansson et al., 2012)

Jedem Operator stehen an seinem Arbeitsplatz ein gebogenes Touch-Display, ein interaktiver Tischbereich, eine Tastatur und ein Kommunikationspuck zur Verfügung. Neben ergonomischen

Vorteilen des vertikal gebogenen Displays mit verbesserter Reichweite bietet dies den weiteren Vorteil, dass die Operatoren durch die Bauform in den Inseln näher beisammensitzen können und dadurch die Zusammenarbeit unterstützt wird. Die Visualisierung wird in zwei Hauptbereiche gegliedert (siehe Abbildung 33a): Im oberen Bereich werden unterschiedliche Meldungen angezeigt, z. B. aktuelle Ereignisse oder verfügbare Betriebsmittel. Im unteren Bereich, der zwei Drittel der Displayfläche einnimmt, wird eine geografische Karte gezeigt. In der Kartendarstellung werden beispielsweise die Betriebsmittel oder Kamerabilder direkt in den Kontext integriert. Der Kommunikationspuck mit integrierter Anzeige der eingehenden Anrufe wird als Tangible auf der horizontalen Arbeitsfläche platziert (siehe Abbildung 33b). Mit diesem können eingehende Anrufe angenommen (drücken) oder weitergeleitet (schieben) werden. Die Lautstärke kann durch Rotation angepasst werden. Der Puck kann je nach Präferenz des Operators rechts oder links platziert werden.

Planung von Wartungsarbeiten im nuklearen Kontext

Das Forschungsprojekt von Hurlen, Petkov, Veland und Andresen (2012) greift die stetig steigenden Anforderungen im Hinblick auf kooperatives und kollaboratives Arbeiten sowohl im Kontext der nuklearen Industrie als auch in der Erdölförderung auf. Abbildung 34a zeigt die derzeitige Arbeitsumgebung. Die entwickelten Konzepte zur kollaborativen Planung der Wartungsarbeiten werden zum einen anhand eines Videoprototyps auf dem Interactive Tabletop (siehe Abbildung 34b) und zum anderen durch ein vertikal ausgerichtetes interaktives Display (65“) präsentiert.

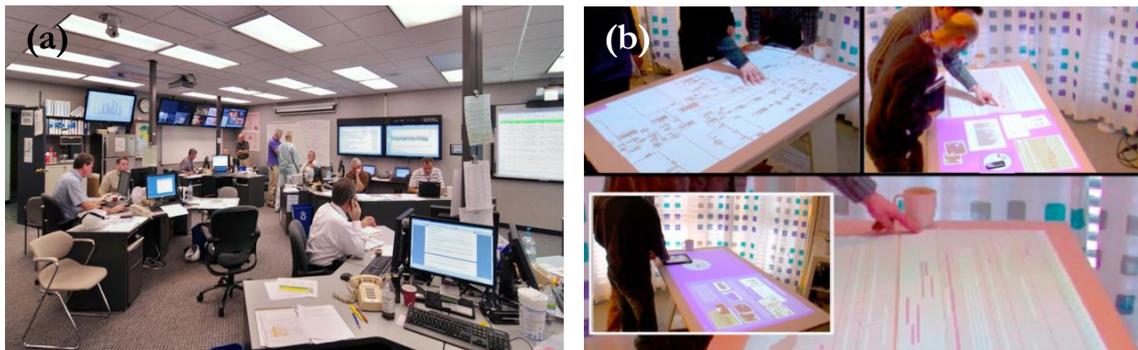


Abbildung 34 Unterstützung der kollaborativen Wartungsarbeiten

(a) Kontrollzentrum mit Operatoren und Ingenieuren zur Überwachung des Kraftwerks während der Wartungsarbeiten; (b) Prototypen zur Unterstützung der Überwachung und Steuerung von komplexen Prozesszusammenhängen im Zuge der Ausfallzeiten bei Nuklearanlagen (Hurlen et al., 2012)

Die Prototypen sind mit Experten aus der Industrie diskutiert worden. Das horizontal ausgerichtete interaktive Display soll die Integration von physischen Artefakten wie das Ablegen von Papierausdrucken und auch digitale Medien wie Tablet-Computer unterstützen. Auf dem vertikalen Display wird beispielsweise für die Planung von Ressourcen ein Zeitstrahl dargestellt, um schnellstmöglich auf Veränderungen im Prozessgeschehen reagieren zu können. Im Vordergrund der Szenarien steht immer die Unterstützung einer Mehrbenutzerumgebung. Ferner weisen Hurlen et al. (2012) im Ausblick des Forschungsbeitrags darauf hin, dass ein Forschungslabor aufgebaut wird, das mit unterschiedlichen vertikalen und horizontalen interaktiven Displays ausgestattet ist. Dabei soll auch die persönliche Arbeitsumgebung des Operators mit einer Multi-Monitor-Umgebung (vier Displays) ausgestattet werden.

Zusammenfassung und Implikation

Die vorgestellten Forschungsprojekte zeigen, dass neue Visualisierungskonzepte in Verbindung mit nutzerzentrierten Interaktionstechnologien wie dem Interactive Tabletop eine vielversprechende

Möglichkeit bieten, Operatoren zu unterstützen. Das ist durch Expertenbewertungen in den unterschiedlichen Projekten bestätigt worden. Gerade die sehr wichtige Zusammenarbeit wird von allen Forschungsprojekten explizit hervorgehoben. Somit werden in den meisten Projekten lediglich Planungstische in horizontaler Ausrichtung oder vertikale interaktive Displays für Katastrophenszenarien oder Schichtübergaben verwendet. Tabelle 7 gibt einen Überblick über die Projekte.

Tabelle 7 Übersicht über die vorgestellten Projekte im Leitwartenkontext

System	Domäne	Aufbau	Primärtätigkeiten	Arbeitsebene	Space
Einsatzlageplanung des Technischen Hilfswerks (THW) (Nebe et al., 2011)	Katastrophenmanagementsystem des Technischen Hilfswerks	Wanddisplay und Interactive Tabletop mit Tangible	Überwachung, Diagnose und Dokumentation	horizontal und vertikal	Public
eGrid (Selim & Maurer, 2010)	Netzleitstelle	Interactive Tabletop	Überwachung und Diagnose	horizontal	Public
Smart Control Room (Geisler & Stiefelhagen, 2010)	Domänenübergreifender Einsatz	Interaktives Wanddisplay	Überwachung und Diagnose	vertikal	Public
Police Communication Center (Johansson et al., 2012)	Einsatzleitsystem der Polizei	Wanddisplay und Interactive Tabletop mit Tangible	Überwachung, Diagnose und Manipulation	horizontal und vertikal	Public und Private
Collaboration surfaces for outage control centers (Hurlen et al., 2012)	Planungssystem für Wartungsarbeiten (Nuklear- und Ölförderungsindustrie)	Interactive Tabletop	Überwachung und Diagnose	horizontal und vertikal	Public

Nach Aussagen der Autoren handelt es sich bei den Projekten *eGrid* (Selim & Maurer, 2010) und *Smart Control Room* (Geisler & Stiefelhagen, 2010) um generische Konzepte, die domänenübergreifend eingesetzt werden können. Innerhalb der Projekte liegt das Hauptaugenmerk auf der Unterstützung von Überwachungs- und Diagnostizitätigkeiten. Dazu werden im Projekt *eGrid* ein horizontales und im Projekt *Smart Control Room* ein vertikales interaktives Display eingesetzt. Beide Arbeitsebenen werden in den Projekten von Nebe et al. (2011), Johansson et al. (2012) und Hurlen et al. (2012) für unterschiedliche Szenarien in der Einsatzplanung genutzt. Ausschließlich beim Projekt des Einsatzleitsystems der Polizei werden Konzepte vorgestellt, die die direkte Arbeitsumgebung (*Private Space*) betreffen. Hierbei werden durch manuelle Eingriffe die Betriebsmittel eingesetzt und koordiniert. In der Arbeitsumgebung des Einsatzleitsystems der Polizei wird ein gebogenes Display verwendet, um die Kommunikationswege zu den anderen Operatoren zu verkürzen.

In allen vorgestellten Projekten wird keine Konzeptalternative zu Maus und Tastatur zur Steuerung von entfernten Wanddisplays vom Arbeitsplatz des Operators aus entwickelt. Neben den Forschungsarbeiten im Kontext der Steuerung von entfernten Wanddisplays müssen im Hinblick auf die Anpassung der physischen Arbeitsumgebung an die Aufgaben die Potenziale von vertikal oder horizontal gebogenen Displays bei den entsprechenden Arbeitssituationen in der Leitwarte erforscht werden. In den untersuchten Projekten werden herkömmliche Visualisierungen in Form von Kartendarstellungen genutzt, die jedoch nicht speziell an die Anforderungen für entfernte Wanddisplays in Mehrbenutzerumgebungen entwickelt worden sind. Zwar werden in den Projekten Tangibles verwendet, jedoch muss der Einsatz von physischen Objekten für manuelle Prozesseingriffe vertieft diskutiert werden. Die Tangibles werden lediglich zum einen im Projekt von Johansson et al. (2012) als Kommunikationspuck und zum anderen im Projekt von Nebe et al. (2011) zur physischen Kartenmanipulation wie Zooming eingesetzt. Gerade im Bereich der direkten Manipulation von Prozessvariablen besteht weiterhin Forschungsbedarf, der in dieser Arbeit thematisiert werden soll.

4.3 Reale und digitale Interaktionsformen für die Leitwarte

In diesem Abschnitt werden zu Beginn die verschiedenen Interaktionsformen der Leitwarte in ihrer Historie beschrieben. Dabei werden die gewonnenen sowie verlorenen Qualitäten mittels der Dimensionen *technische Verarbeitungskapazität (Power)* und *physisch-prozessbezogene Qualitäten (Reality)* nach Jacob et al. (2007) erläutert. Mit diesen Erkenntnissen und mit Hilfe der *Blended Interaction* wird das neue, vierte Interaktionsparadigma im Kontext der Leitwarte vorgestellt.

4.3.1 Der Weg in das vierte Paradigma der Prozessführung

Die gegensätzliche Entwicklung der Mensch-Maschine-Schnittstellen kann mit dem Modell *Power* vs. *Reality* (Jacob et al., 2007) beschrieben werden, da sich die Interaktionsparadigmen evolutionsbedingt im gegensätzlichen Verhältnis der Dimensionen entwickelt haben. Rückblickend lässt sich die historische Entwicklung als (1) *dezentrale manuelle Prozessführung*, (2) *zentrale manuelle Prozessführung*, (3) *zentrale digitale Prozessführung* in die Dimensionen des Modells einordnen. So bildet die Dimension *Power* die technische Verarbeitungskapazität und die digitale Funktionsvielfalt ab. Die Dimension *Reality* beschreibt hingegen das Physische bzw. Realweltliche im Sinne von Greifen oder Berühren (beispielsweise physische Stellteile in einer Anlage). Die Einteilung der Interaktionsparadigmen in Anlehnung an die Tradeoffs von Jacob et al. (2007) ist durch zehn Usability-Experten im Rahmen einer Evaluation aus dem Leitwartenkontext bestätigt worden. Bei den Befragten (durchschnittliches Alter 38.92 Jahre, *SD* = 7.28) handelt es sich um zwei weibliche und acht männliche Experten aus unterschiedlichen Domänen: Energieverteilung (*N* = 4), Kraftwerke (*N* = 3) Verkehrskontrollsysteme (*N* = 2) und Logistik (*N* = 1). Anhand eines Fragebogens mussten die Teilnehmer die einzelnen Paradigmen den Dimensionen (*Power* vs. *Reality*) zuordnen. Diese Zuordnung hat als Grundlage gedient, um mit den Teilnehmern ein mögliches neues, viertes Interaktionsparadigma der (4) *zentralen realitätsbasierten Prozessführung* zu erörtern. Abbildung 35 zeigt das erreichte Ergebnis über alle Teilnehmer hinweg.

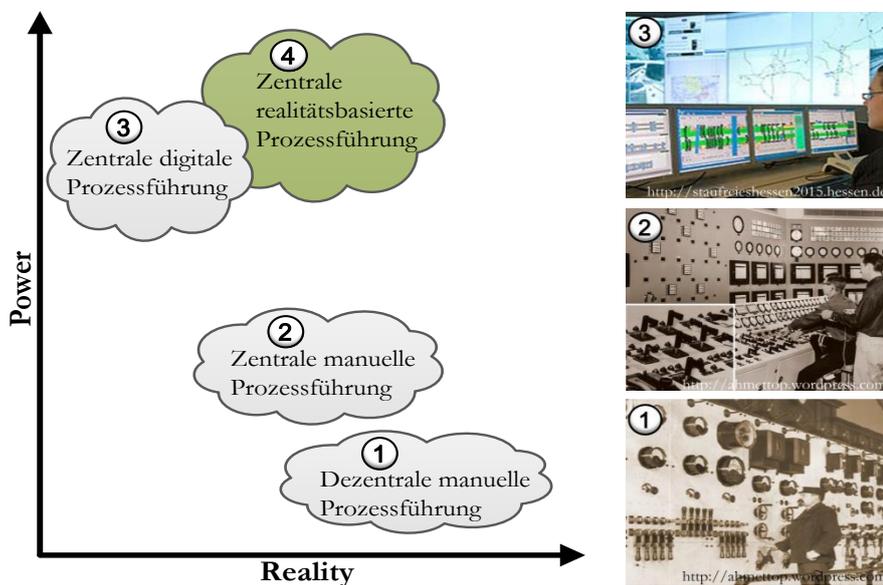


Abbildung 35 Paradigmen der Prozessführung anhand der Tradeoffs Power vs. Reality

Die Evolution der Paradigmen in der Prozessführung kann anhand der Dimensionen Power vs. Reality nach Jacob et al. (2007) beschrieben werden (Schwarz, Müller, et al., 2013).

So sind zunächst durch Zentralisierung und anschließend durch Digitalisierung Leitwarten effektiver geworden (Anstieg der *Power*-Dimension, siehe Y-Achse in Abbildung 35). Jedoch hat dadurch

der Operator fortlaufend den wahrnehmbaren Prozessbezug verloren (Abstieg der *Reality*-Dimension, siehe X-Achse in Abbildung 35). Anhand der Expertenrückmeldung bestätigt sich, dass realitätsbasierte Konzepte und die damit verbundenen neuen Trends der MCI die Vorteile der Dimensionen *Power* und *Reality* vereinen. Somit kann durch die Verschmelzung von realen und digitalen Interaktionsformen ein neues, viertes Paradigma, und zwar die (4) *zentrale realitätsbasierte Prozessführung* geschaffen werden (siehe Abbildung 35). Im Folgenden wird das Framework der *Blended Interaction* im Kontext der Arbeitsumgebung von Operatoren vorgestellt. Dabei werden die aufgezeigten Stärken realitätsbasierter Konzepte gleichermaßen berücksichtigt. Es bildet damit den Gestaltungsrahmen für die *zentrale realitätsbasierte Prozessführung*.

4.3.2 Blended Interaction als Designframework

Das Framework der *Blended Interaction* soll als Grundlage für das Paradigma der *zentralen realitätsbasierten Prozessführung* fungieren. Dabei soll im Sinne der *Blended Interaction* eine holistische Arbeitsumgebung gestaltet werden, die sowohl die *persönliche* und *soziale Interaktion*, die *Workflows* als auch die *physische Arbeitsumgebung* berücksichtigt. Die zugrundeliegenden Theorien *Reality-based Interaction* (Jacob et al., 2007, 2008) und *Conceptual Blending* (Fauconnier & Turner, 2002; Imaz & Benyon, 2007) werden herangezogen, um die kognitiven und sozialen Fähigkeiten des Operators in einer wohldefinierten Art und Weise bei der Gestaltung der neuen Arbeitsumgebung zu berücksichtigen. Der ganzheitliche Gestaltungsansatz besteht aus vier Hauptkomponenten (siehe Abbildung 36).

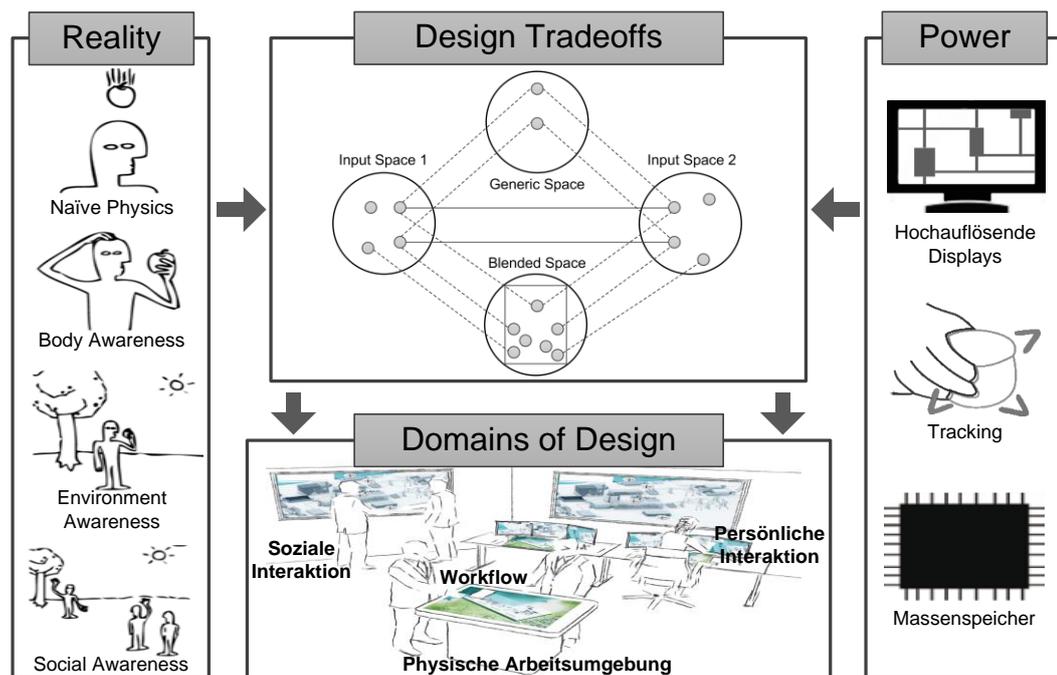


Abbildung 36 Die vier Hauptbestandteile des Designframeworks der Blended Interaction

Das Designframework zur holistischen Gestaltung natürlicher Interaktionsformen im Leitwartenkontext (Schwarz, Müller, et al., 2013), modifiziert nach Jetter et al. (2012) und (2013)

Wie zuvor beschrieben, spielen ähnlich wie bei der *Reality-based Interaction* die *Design Tradeoffs* zwischen den Dimensionen der realen Welt (siehe Abbildung 36, links *Reality*) und der digitalen Informationsverarbeitung (siehe Abbildung 36, rechts *Power*) die entscheidende Rolle.

Die Dimension der digitalen Informationsverarbeitung (*Power*) beinhaltet beispielsweise hochauflösende Displays, Massenspeicher und Sensoren. Operatoren wenden neben realitätsnahen Konzepten auch solche an, die sie beim Gebrauch digitaler Technologien erworben haben, und setzen diese

Konzepte in ihren mentalen Space (z. B.: die Reaktion von Bildschirmen auf Touch, die Nutzung von Pinching-Gesten zum Zoomen) ein. Dabei interagieren die Operatoren individuell oder in Teams und wechseln fließend zwischen realer und digitaler Interaktion sowie sozialer Kommunikation. Als Werkzeug zur Orientierungshilfe wird für die Gestaltung von *Design Tradeoffs* das *Conceptual Blending* genutzt (siehe Abbildung 36, Mitte). Das *Conceptual Blending* unterstützt dabei, das Vorwissen und die natürlichen Fähigkeiten der Operatoren zu berücksichtigen. Es ergibt sich basierend auf den *Design Tradeoffs* folgende Fragestellung:

„Wie lassen sich alltägliche (digitale und nichtdigitale) Konzepte des Operators für die Gestaltung von Benutzungsschnittstellen sinnvoll kombinieren, um einen Multiplier Effect zu erreichen?“

Die Antwort auf diese Frage erläutert dabei auch den von Jacob et al. (2008) erwähnten *Multiplier Effect*, durch den eine Benutzungsschnittstelle eine unrealistische, aber leistungsfähige Bedienung erlaubt. Die alleinige Steigerung des Realitätsbezugs der Interaktion ist dabei allerdings unzureichend. Der entscheidende Vorteil kann besonders durch ein wohlbedachtes Ineinandergreifen der bewährten Möglichkeiten der realen Welt mit denen der digitalen Welt erreicht werden. Die Interaktionsformen werden hinsichtlich der Ganzheitlichkeit aus unterschiedlichen Perspektiven beleuchtet und anhand von vier Gestaltungsebenen vorgestellt (siehe Abbildung 36, unten).

Bevor im Folgenden die einzelnen Konzeptideen des *Holistic Workspace* anhand der vier Gestaltungsebenen beschrieben werden, zeigt Abbildung 37 einen Überblick über die physische Arbeitsumgebung. Als Übersichtsbereich für Überwachungs- und Diagnosetätigkeiten wird ein gemeinsam genutztes großes Wanddisplay (*Public Space*) eingesetzt.

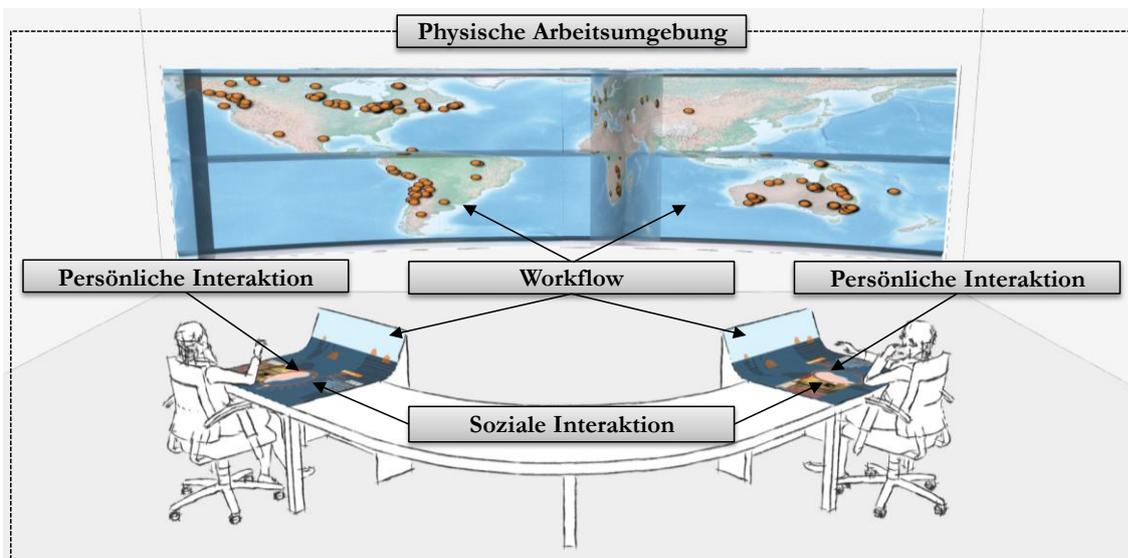


Abbildung 37 Aufbau der Leitwarte mit Public Space und Private Space

Die vier Gestaltungsebenen der Blended Interaction werden gleichermaßen in die holistische Gestaltung der Arbeitsumgebung einbezogen.

Zusätzlich werden interaktive, gebogene Displays, die eine neue Perspektive des Informationsraums zur Überwachung und Diagnose bereitstellen, um die Daten im Detail zu analysieren, am persönlichen Arbeitsplatz (*Public Space*) der Operatoren verwendet. Die Interactive Tabletops ermöglichen eine direkte Manipulation und damit eine natürliche Form der Bedienung.

Persönliche Interaktion

Die *Informationsaufnahme* und *Informationsanalyse* sind Teilprozesse der menschlichen Informationsverarbeitung und umfassen hauptsächlich die sensorisch erfassten Reize und Vorerfahrungen (vgl. Parasuraman et al., 2000). Das impliziert die Förderung der körperlichen als auch sinnlichen Wahr-

nehmbarkeit durch eine kohärent multimodale Interaktion (beispielsweise physische Stellteile in früheren analogen Leitwarten). Je nach Prozesssituation werden dem Operator unterschiedliche Handlungsweisen (vgl. *SRK-Modell* nach Rasmussen, 1983; siehe Abschnitt 2.2.1) abverlangt. So können bereits auf der ersten Ebene des *fertigkeitsbasierten Handelns* die sensorischen und motorischen Fähigkeiten durch angemessene Interaktionsformen gefördert werden. Um den Operator hinsichtlich der persönlichen Interaktion zu unterstützen, werden im Folgenden drei unterschiedliche Konzeptideen vorgestellt: Interaktionskonzept für entferntes Wanddisplay, direkte Manipulation von Prozessvariablen und eine stiftbasierte Dokumentation.

Bei der Vor-Ort-Untersuchung der Verkehrsüberwachung hat sich gezeigt, dass Systeme einen Stau auf einem Streckenabschnitt automatisch erkennen. Der Operator bekommt in Form einer Veränderung der Darstellung des Streckenabschnitts, z. B. durch einen Farbwechsel von grün zu rot, eine entsprechende Rückmeldung. Jedoch ist meist zunächst nicht klar, an welcher Stelle die Ursache liegt, da das Auffinden der Ursache trotz des hohen Automatisierungsgrads immer noch eine Aufgabe ist, die der Operator manuell erledigen muss. Aus diesem Grund muss ein Konzept für diesen Arbeitsschritt die effiziente Navigation an Kanten entlang (z. B. Straßenverlauf oder Stromnetz) und das kontinuierliche Abrufen von Prozessvariablen ermöglichen. Nach Nigay und Vernier (1998) müssen effiziente Navigationstechniken in der Lage sein, die Ausgabe wieder als Eingabe verwendbar zu machen. D. h., die Navigationstechniken sollten die sog. *Input and Output (I/O)-Wiederverwendung* unterstützen. Beinhaltet das Konzept keine *I/O-Wiederverwendung*, muss der Operator die gewünschten Detailinformationen in einem separaten Arbeitsgang zunächst auswählen.

Des Weiteren ist bei der Vor-Ort-Untersuchung festgestellt worden, dass sich die vorherrschenden Eingabegeräte Maus und Tastatur für die Navigation auf entfernten Displays nicht eignen. Die Interaktion wird durch ständiges Nachgreifen in künstliche Teilschritte zerlegt. Zudem erfordert die Positionierung der Marker bzw. Zeiger eine filigrane Bedienung der Maus. Um den Operator bei der Interaktion mit einem entfernten Wanddisplay zu unterstützen, wird der Einsatz eines sog. *Self-centering Device* vorgeschlagen.

In den heutigen Leitwarten findet die Manipulation von Prozessvariablen mit Maus und Tastatur sowie die Visualisierung auf den Bildschirmen statt (siehe Abbildung 38a).

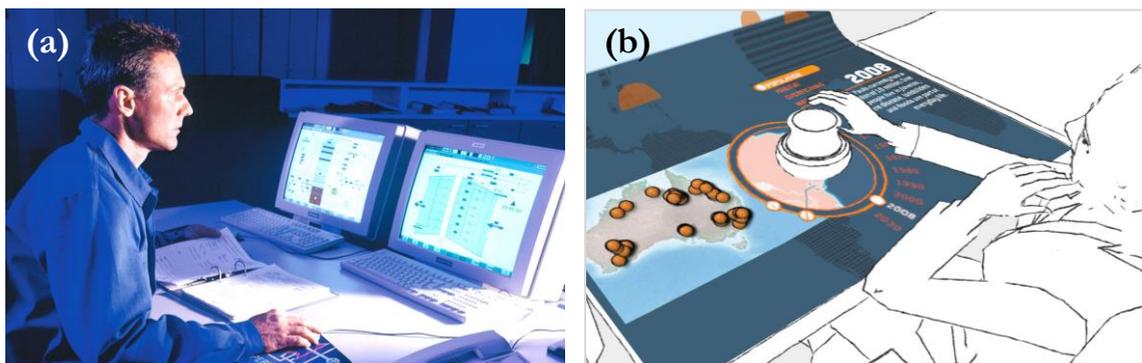


Abbildung 38 Unterstützung der persönlichen Interaktion durch Interactive Tabletop

(a) Arbeitsplatz (Private Space) in einer Leitwarte mit Maus und Tastatur als Eingabegeräte sowie Schichtbuch¹⁹; (b) Interactive Tabletop in der Arbeitsumgebung (Private Space) des Operators mit Tangible zum direkten Eingriff in den Prozess

Diese Art der Benutzungsschnittstelle beschränkt die sensorische Erlebbarkeit der Interaktion auf ein Minimum, da das Tasten, Greifen und Fühlen des realen Prozesszustands dem Operator ver-

¹⁹ Pressebild: Siemens AG (2007). Referenznummer: SOEFP200901-01-06, zuletzt aufgerufen am 08.04.2014.

wehrt bleiben. Somit ist die Wahrnehmung des Operators hinsichtlich des Prozesszustands auf eine visuelle Aufnahme der Informationen beschränkt. In der Ära der manuellen Prozessführung hat sich der Operator beispielsweise über die wahrgenommene Bedieneigenschaft eines Kontrollelements das zugehörige Prozesselement herleiten können. Das setzt voraus, dass die wahrgenommene Bedieneigenschaft eines Kontrollelements richtig interpretiert wird und außerdem mit dem dazugehörigen Prozesselement assoziiert werden kann. Drehregler lassen sich auf- und zudrehen und haben einen Anschlag (Bedieneigenschaft) und werden typischerweise für die Regelung von Flussgrößen verwendet (z. B. durch ein Ventil).

Abbildung 38b zeigt eine schematische Darstellung eines möglichen Drehreglers in Form eines Tangibles. In diesem Zusammenhang müssen im Bereich der persönlichen Interaktion bei Prozess eingriffen entsprechende Konzepte abgeleitet werden, die die Fähigkeiten und Vorkenntnisse des Menschen einbeziehen. In Bezug auf die Aussagen der Experten in der Analysephase zeigen sich Potenziale für den Einsatz von Interactive Tabletops (siehe Abschnitt 3.2.3).

Notizen, Protokolle oder Schichtbücher werden in der heutigen digitalen Welt vorwiegend noch mit Stift und Papier erstellt (siehe Abbildung 39a).



Abbildung 39 Unterstützung der persönlichen Interaktion mit Digital-Pen & Paper

(a) Analoges Schichtbuch zum Erfassen von Störungen in der Leitwarte; (b) Übertragung von analogen Protokollen und Schichtbüchern in die digitale Welt

Diese natürliche Eingabeform wird von den Operatoren gegenüber einer Tastatureingabe, wie die Untersuchung gezeigt hat, bevorzugt. Somit wird der Ansatz einer Digital-Pen & Paper-Technologie im Rahmen der Arbeit verfolgt, wodurch die Daten in analoger und in digitaler Form vorliegen (siehe Abbildung 39b). Dabei soll ein nahtloser Übergang zwischen digitaler Welt und physischem Arbeitsbereich stattfinden.

Soziale Interaktion

Die Gestaltung der Benutzungsschnittstelle soll sich nicht nur auf die persönliche Interaktion des Operators beschränken, sondern auch die soziale Interaktion der beteiligten Personen fördern. Wie bereits in 2.3.3 anhand der Raum-Zeit-Matrix nach Johansen (1988) beschrieben, soll im Rahmen der Arbeit vornehmlich die *Face to Face Interaction* gefördert werden. Hierbei soll vor allem die soziale Kommunikation durch geeignete Interaktions- und Visualisierungsformen unterstützt werden, da diese die Basis für die Kooperations- und Koordinationstätigkeiten bildet (Rasmussen et al., 1991). Die Interaktionsformen einhergehend mit der manuellen Prozessführung haben sowohl Vorteile einer expliziten Bedienhandlung mittels spürbarer Widerstände als auch einer impliziten nonverbalen Kommunikation gehabt.

Durch die statische Position der Bedienelemente und analogen Anzeigen im Raum in der *zentralen manuellen Prozessführung* (siehe Abschnitt 2.3.2) ist dem Operator stets bewusst gewesen, woran sein Kollege aktuell gearbeitet hat. Vor allem vor dem Hintergrund von Absprachen zwischen den Ope-

ratoren ist es wichtig, die soziale Interaktion zu beachten. Die Unterstützung der impliziten und expliziten Kommunikation führt zur Arbeitsentlastung.

Wie bereits in früheren Leitwarten prägen auch heute noch große Wanddisplays (*Public Space*) das Bild in der Prozessüberwachung, um ein gemeinsames Situationsbewusstsein der Operatoren über den aktuellen Betriebszustand zu fördern (siehe Abbildung 40a). Die gemeinsam genutzte Prozessvisualisierung sollte eine implizite und explizite Kommunikation zwischen den Operatoren bei Überwachungs- und Diagnosetätigkeiten unterstützen (siehe Abbildung 40b).

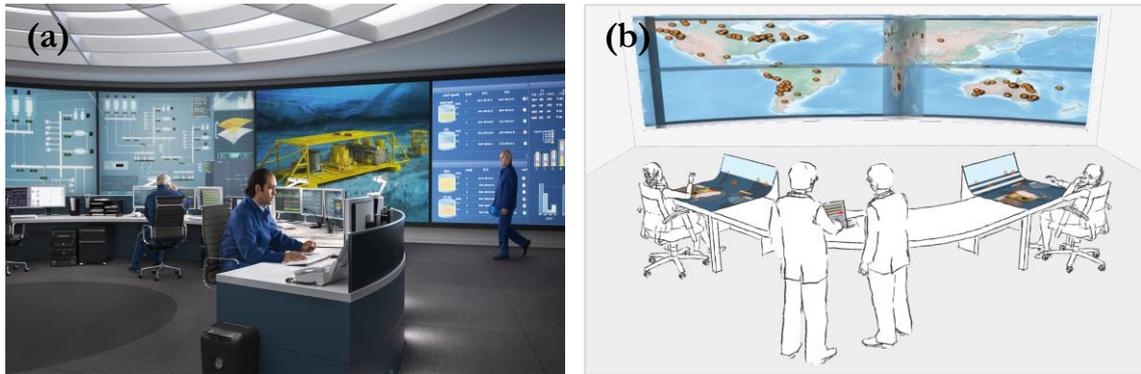


Abbildung 40 Unterstützung bei der nonverbalen Kommunikation zwischen Operatoren

(a) Aktuelle Leitwarten sind mit unterschiedlichen Arbeitsbereichen ausgestattet.²⁰ **(b)** Innerhalb der kooperativen Tätigkeiten muss die nonverbale Koordination über das Wanddisplay (Public Display) gefördert werden.

Um die soziale Interaktion und Kommunikation zu unterstützen, müssen sowohl Navigationstechniken als auch Visualisierungsformen wohlbedacht eingesetzt werden. Besonders bei anormalen Betriebszuständen, wenn Teamwork zwischen Operatoren erforderlich ist, ist eine nonverbale Abstimmung bedeutsam. Nur durch enge Abstimmung und das Bewusstsein, an welcher Stelle des Prozesses das jeweilige Teammitglied aktuell arbeitet, wird ein reibungsloser Ablauf gefördert.

Die Zusammenarbeit bei der Manipulation von Prozessvariablen und dem damit direkten Prozesseingriff im *Private Space* soll durch die Integration von realweltlichen Objekten wie Tangibles in die Benutzungsschnittstelle umgesetzt werden. Diese Form der Interaktion fördert beispielsweise nicht nur das persönliche sensomotorische Erleben wie beim Umgang mit realen Objekten, diese Eingabeform bietet durch die physische Beschaffenheit auch eine *visuelle Affordance* (Underkoffler & Ishii, 1999). Somit ist für die Operatoren stets ersichtlich, welche Prozessvariable zum aktuellen Zeitpunkt von welchem Teammitglied manipuliert wird.

Die von den Operatoren angefertigten Notizen, Schichtbücher, Protokolle oder sonstigen Dokumente liegen derzeit meist nur als analoge Papierdokumente vor. Diese sind essenziell für die soziale Interaktion zwischen den Operatoren und für die indirekte Kommunikation. Eine Digitalisierung der mit der Hand angefertigten Artefakte hat den Vorteil, dass sich alle am Prozess beteiligten Personen sofort einen Überblick über das aktuelle Geschehen verschaffen können. Grundvoraussetzung hierbei ist, dass die Daten in Echtzeit zur Verfügung stehen, um die Koordination und Kommunikation der Operatoren im Team effizient zu fördern. Somit können alle Operatoren in ihrer unmittelbaren Arbeitsumgebung ständig auf Protokolle oder Schichtbücher zurückgreifen, diese ausdrucken oder die Suchfunktion in den Dokumenten nutzen.

²⁰ Pressebild: Siemens AG. (2014) Referenznummer: soaxx201405-05, zuletzt aufgerufen am 08.08.2014.

Workflow

Durch die Komplexität der technischen Prozesse in Leitwarten müssen die unterschiedlichen Arbeitsprozesse nahtlos aneinander anknüpfen. Die Interaktion sollte daher nicht gesondert von unterschiedlichen Aufgaben betrachtet werden, sondern in die zusammenhängenden Arbeitsschritte integriert werden. Die Aufgaben Überwachung, Diagnose und das Eingreifen in den technischen Prozess (vgl. Johannsen, 2008) sind mit Navigations- und Selektionstätigkeiten verbunden. Der Wechsel zwischen der Überwachung und der Suche nach der Ursache während Diagnosetätigkeiten muss nahtlos erfolgen können. Die Betrachtung von *Workflows* fordert die nahtlose Integration der Handlungsschritte im Kontext von Leitwarten.

Derzeit besteht keine direkte Verbindung zwischen dem Wanddisplay (*Public Space*) und den Bildschirmen direkt am Arbeitsplatz (*Private Space*) der Operatoren. Im heutigen Workflow muss aufgrund der Trennung die Information einzeln abgerufen und in einen Zusammenhang gebracht werden (siehe Abbildung 41a).

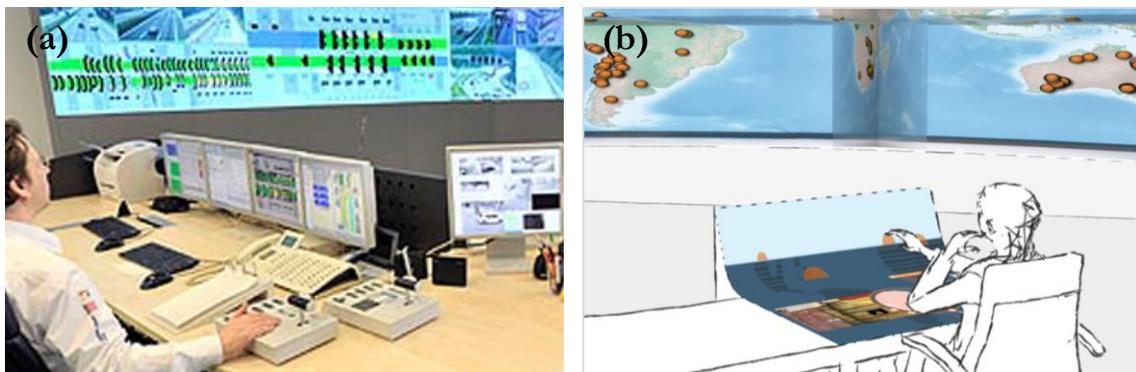


Abbildung 41 Unterstützung bei der Synchronisation von unterschiedlichen Displayebenen

- (a) In der heutigen Arbeitsumgebung besteht keine direkte Verbindung zwischen dem Public Space und den Bildschirmen direkt am Arbeitsplatz (Private Space).²¹
 (b) Die Synchronisation zwischen Public Space und Private Space erfordert keine erneute Auswahl von Informationen.

So hat auch die Untersuchung vor Ort gezeigt, dass sequenzielles Abrufen von Detailinformationen, das häufig im Kontext der netzwerkartigen Struktur der Datenräume benötigt wird, nicht unterstützt wird. Aus diesem Grund wird im Konzept vorgeschlagen, die unterschiedlichen Displayebenen (*Public Space* und *Private Space*) zu synchronisieren, um nicht erneut den Kontext auswählen zu müssen (siehe Abbildung 41b).

Abbildung 42a verdeutlicht, dass mehrere Darstellungsformen des Informationsraums verwendet werden. Neben den beiden Darstellungsvarianten des Informationsraums, den Übersichts- (rot) und Detailansichten (blau), wird zusätzlich ein Meldungsbildschirm (grün) eingesetzt, der genutzt wird, um Fehlfunktionen oder Störungen anzuzeigen. Der dezidierte Meldungsbildschirm erlaubt eine globale Sicht über den technischen Prozess, d. h., er zeigt Meldungen an, die einen beliebigen Ausschnitt aus dem Informationsraum betreffen können. Tritt eine Störung auf, navigiert der Operator zur Ursache im jeweiligen Ausschnitt des Informationsraums und behebt in der Detailsicht die Störung. Um den Operator zu unterstützen, werden im Konzept die Meldungen in Beziehung zueinander gesetzt und in den Kontext des Informationsraums integriert. Darüber hinaus geht heute der Bezug zwischen Meldung und lokalem Kontext der Meldung vollkommen verloren, da hierfür in den vorherrschenden Konzepten, die in den Nutzungskontextanalysen untersucht worden sind, keinerlei visuelle Repräsentation existiert.

²¹ <http://www.dvz.de/news/transport/artikel/id/freie-fahrt-auf-dem-seitenstreifen.html>, zuletzt aufgerufen am 10.04.2014.

Wie Abbildung 42b zeigt, soll zur Unterstützung der Workflows das klassische Overview+Detail-Entwurfsmuster mit Übersichts- und Detailbereichen um die Darstellung von Meldungen erweitert werden. Um den visuellen Bezug zwischen der Meldung und dem lokalen Kontext zu verstärken, soll ein gebogenes Display eingesetzt werden.

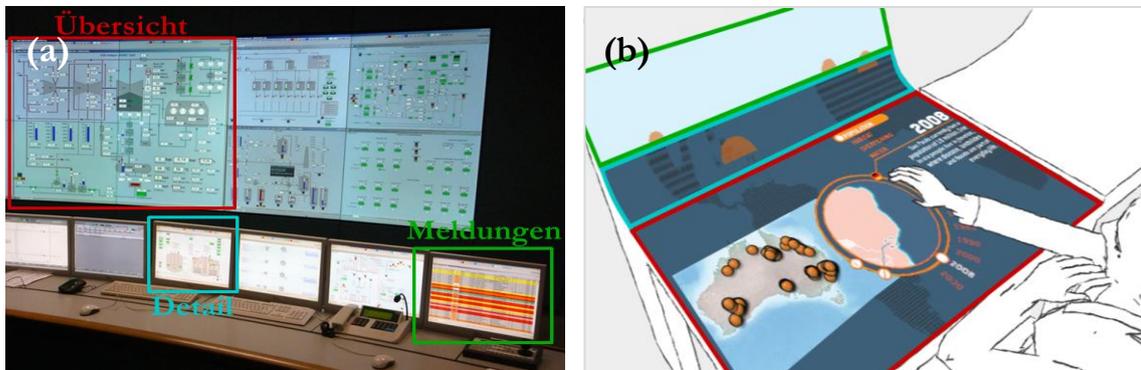


Abbildung 42 Unterstützung bei der Bearbeitung von eingehenden Meldungen

- (a) Eingehende Meldungen werden in der heutigen Prozessführung meist auf einem dezidierten Bildschirm (grün) angezeigt. Dabei geht der Bezug der Meldung zwischen der Übersicht (rot) und dem lokalen Kontext (blau) verloren.
- (b) Die Integration des Meldungsbildschirms (grün) in den Übersichts- (rot) und Detailbereich (blau) kann auf einem vertikal gebogenen Display nahtlos erfolgen.

Bei der Erstellung von handschriftlichen Artefakten ist die Weiterverarbeitung aufgrund von Medienbrüchen zwischen realer und digitaler Welt nur in sehr begrenztem Umfang möglich. Der Operator muss zusätzlich zur analogen Schriftführung mit der Hand digitalisieren. Zur Verbesserung der Effizienz bei der Weiterverarbeitung handschriftlicher Eingaben, die sich durch eine persönliche Interaktion auszeichnen, wird die Verwendung eines Digitalstifts vorgeschlagen.

Physische Arbeitsumgebung

Die Ausführung der Primärtätigkeiten ist in der frühen Prozessführung an einen Ort gebunden und deshalb fest in der physischen Umgebung des Operators verankert gewesen. Folglich sind die Kontrollmöglichkeiten ebenfalls an einen physischen Ort gebunden gewesen, während sie heute rein virtuell dargestellt werden müssen. In der VDI/VDE 3850 (Blatt 3)²² wird die Empfehlung gegeben, dass interaktive Systeme, die durch Touch-Interaktion zu bedienen sind, horizontal auszurichten sind. Im Gegensatz dazu wird empfohlen, das Display vertikal auszurichten, wenn die Visualisierung von Informationen im Vordergrund steht. In den Untersuchungen von Morris et al. (2007) werden Erkenntnisse darüber diskutiert, welche Displayausrichtung für die Erfüllung von dezidierten Aufgaben besser geeignet ist. Hierzu sind unterschiedliche Aufgabentypen wie das Schreiben und Lesen von Texten bei gleichzeitiger Annotation in Texten untersucht worden. Von den Probanden ist die horizontale Ausrichtung der Displays zum Schreiben vorgezogen worden, da diese dem Umgang mit realem Papier zu ähneln scheint (Morris et al., 2007).

Weiterhin hat eine Betrachtung von Morris, Fisher und Wigdor (2010) ergeben, dass horizontale Displays sich eher für den Einsatz von Metaphern eignen als vertikale, da die zugrundeliegenden Objekte aus dem Alltag oftmals ebenfalls in einer horizontalen Ausrichtung auftreten. So werden Tätigkeiten wie das Stapeln, Ausbreiten und das Organisieren von Informationsartefakten, wie es auf herkömmlichen Schreibtischen geschieht, als Vorteil von horizontalen Displays angesehen. Beim Einsatz der Touch-Interaktionen sind horizontale Displays geeigneter als das vertikale Display, da eine bequemere Armhaltung ermöglicht wird (Morris et al., 2007). Dagegen beklagen die

²² VDI/VDE 3850 - Blatt 3 (2014): Nutzergerechte Gestaltung von Bediensystemen für Maschinen - Dialoggestaltung für Touchscreens.

Teilnehmer der Studie häufig Muskelverspannungen im Bereich des Nackens, die durch die gebückte Körperhaltung hervorgerufen werden. Vor allem für das Lesen von langen Texten und für die Dateneingabe sind daher horizontal ausgerichtete Displays begrenzt geeignet, weil die Arbeit langfristig ermüdend sein kann (Morris et al., 2007). Aufgrund von Erkenntnissen der Evaluation wird von Morris et al. (2007) vorgeschlagen, je nach Tätigkeitsbereich horizontale und vertikale Anzeigeflächen ergänzend einzusetzen, um so die Stärken kombinieren zu können. Auch Benko, Morris, Brush und Wilson (2009) haben ergonomische Eigenschaften von horizontalen Interactive Tabletops untersucht. Ähnlich wie zuvor bei den Untersuchungen von Morris et al. (2007) haben auch hier die Probanden bei längerer Arbeit mit horizontalen Displays Muskelverspannungen verspürt. Demgegenüber sind als Vorteile von horizontalen Displays die Option der Nutzung von Tangibles, der Einsatz in Mehrbenutzerszenarien sowie die Multitouch-Funktionalität hervorgehoben worden. Nach Benko et al. (2009) ist bei längerem Arbeiten eine vertikale Primäranzeigefläche zum Lesen von Texten unverzichtbar.

Tabelle 8 verdeutlicht die Vor- und Nachteile der entsprechenden Displayausrichtung. Hierbei zeigt sich, dass die horizontalen und vertikalen Anzeigeflächen sinnvoll miteinander kombiniert werden können. Es ist jedoch zu beachten, dass die geteilte Aufmerksamkeit beim Zusammenspiel durch geeignete Konzepte gering gehalten werden muss.

Tabelle 8 Vor- und Nachteile der Displayausrichtung

Displayausrichtung	Vorteile	Nachteile
Horizontal	<ul style="list-style-type: none"> • Ergonomische Armhaltung durch Auflegen der Arme bei der Interaktion • Nutzung der realweltlichen Tischmetapher (stapeln, sortieren usw.) • Einbindung von realweltlichen Objekten (z. B. Tangibles) 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine ergonomische Körperhaltung bei langen Überwachungstätigkeiten • Einschränkung des Betrachtungswinkels beim Lesen von Texten auf großen Displays (Der Operator muss sich eventuell weit über das Display beugen.)
Vertikal	<ul style="list-style-type: none"> • Ergonomische Kopfhaltung bei längeren Überwachungstätigkeiten • Uneingeschränkte Überwachung großer Informationsräume durch mehrere Operatoren 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine ergonomische Armhaltung bei längerer Interaktion • Eingeschränkte Einbindung von realweltlichen Objekten (z. B. Tangibles)

Charakteristisch für die Arbeitsumgebungen in Leitwarten sind die großen Wanddisplays und kleinen Displays im *Private Space*, die über die letzten Jahre hinweg in ihrer Anzahl stetig gestiegen sind (siehe Abbildung 43a). Bei der Unterstützung durch die Gestaltungsebene physische Arbeitsumgebung stehen vor allem die horizontale oder vertikale Ausrichtung, die Größe sowie die Position der Displays in der Arbeitsumgebung im Mittelpunkt.

Die Untersuchung vor Ort hat gezeigt, dass sich bei der Bearbeitung von Primärtätigkeiten eines Operators ein grundlegender Unterschied erkennen lässt: Überwachungsaufgaben sind beobachtende, d. h. eher passive Tätigkeiten. Der manuelle Eingriff bei der Manipulation von Prozessvariablen ist, auf die Interaktion bezogen, eine wesentlich aktivere Tätigkeit. Die Diagnostizitätätigkeit des Operators kann als Kombination der beiden Extrema angesehen werden. Zur Beurteilung der Problemursache werden vom Operator die entsprechenden Kontext- und Detailinformationen abgerufen, die im Anschluss interpretiert werden. Auf Basis der Forschungsarbeiten, die zu Beginn dieses Abschnitts beschrieben worden sind, wird in dieser Arbeit das Konzept verfolgt, das ein vertikales Wanddisplay (*Public Space*) sowie ein horizontales Interactive Tabletop direkt am Arbeitsplatz (*Private Space*) des Operators vorsieht. Im Sinne des *Ubiquitous Computing* geht die physische

Umgebung eng mit entsprechenden Eingabegeräten und -techniken einher und sieht die Verteilung der drei Primärtätigkeiten auf unterschiedliche Displayebenen vor: Für die Primärtätigkeiten Überwachung und Diagnose wird ein großes gemeinsam genutztes Wanddisplay verwendet, und für Prozesseingriffe kommen Interactive Tabletops zum Einsatz (siehe Abbildung 43b). Dabei werden die Displays nach ihren jeweiligen Vorzügen ausgerichtet. Die Überwachungs- und Diagnosetätigkeiten werden auf dem vertikalen Wanddisplay (*Public Space*) bearbeitet. Der *Private Space* wird mit einem horizontal ausgerichteten Interactive Tabletop versehen, um den manuellen Eingriff in Form der Manipulation von Prozessvariablen zu unterstützen.



Abbildung 43 Unterstützung der physischen Arbeitsumgebung

(a) Aktuelle Arbeitsumgebung eines Operators in der Leitwarte mit Wanddisplay (*Public Space*), Multi-Monitor-Umgebung (*Private Space*) sowie Maus und Tastatur als Interaktionsgeräte²³; (b) Zwei Operatorarbeitsplätze mit jeweils einem Interactive Tabletop als Manipulationsebene und einem Wanddisplay als Überwachungs- und Diagnoseebene

Im Zuge der Automatisierung sind die technischen Prozesse komplexer geworden. Aus diesem Grund muss der Operator eine große Anzahl an Informationen überwachen. Das zeigt sich auch bei der Analyse des Nutzungskontexts, denn die Beobachtungstätigkeiten im Rahmen der täglichen Arbeit nehmen sehr viel Zeit in Anspruch. Daher wird aus ergonomischen Gesichtspunkten für die Überwachungs- und Diagnoseebene ein vertikales Display eingesetzt. Ebenso bietet ein großes vertikales Wanddisplay einen gemeinsamen Überblick über den technischen Prozess sowie eine Kommunikationsoberfläche für kooperative Tätigkeiten. Mit Hilfe des vertikalen Wanddisplays wird für alle Beteiligten ein sichtbares Diskussionsforum geboten, um beispielsweise anormale Betriebszustände gemeinsam analysieren und entsprechend Gegenmaßnahmen einleiten zu können (Müller, Linden & Stelzner, 1998).

Im Gegensatz dazu wird für die manuellen Eingriffe ein horizontales Interactive Tabletop eingesetzt, das neue Interaktionsformen unterstützt und bezüglich der Touch-Interaktion eine angenehmere Armhaltung ermöglicht als bei einer vertikalen Displayausrichtung (Morris et al., 2007). Derzeit werden lediglich vertikal ausgerichtete Displays eingesetzt (siehe Abbildung 44a). Dabei fördern geeignete Metaphern aus der realen Welt wie das Verschieben eines Papierbogens oder einer geografischen Landkarte auf einer Tischplatte die Interaktion auf der horizontalen Arbeitsebene. Auf Basis der Studie von Bützler, Vetter und Schlick (2010) wird eine Neigung der horizontalen Displayfläche von 16° umgesetzt. Als weiterer Ansatzpunkt wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit der Einsatz eines gebogenen Displays verfolgt, um die physische Umgebung an die Arbeitssituation im Bereich des *Private Space* anzupassen (siehe Abbildung 44b).

²³ <http://www.enbw.com/media/konzern/docs/energieerzeugung/broschuere-die-fossil-befeuerten-kraftwerke-der-enbw.pdf>, zuletzt aufgerufen am 10.04.2014.

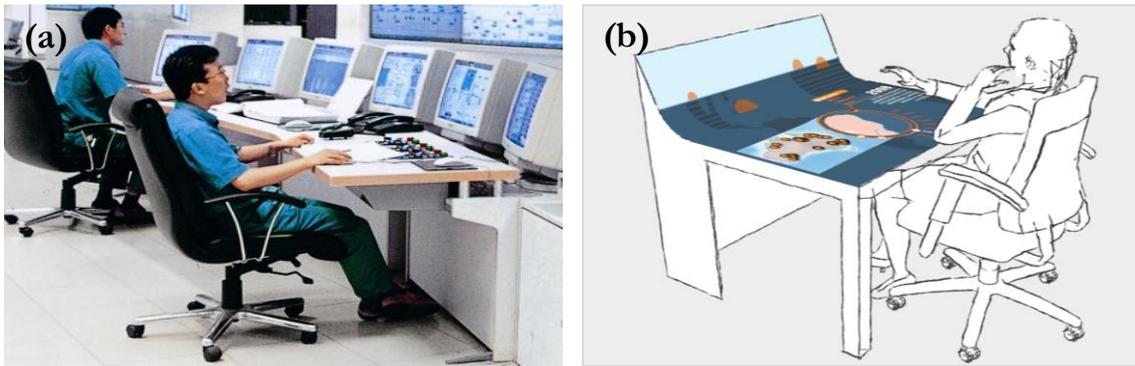


Abbildung 44 Unterstützung durch horizontale und vertikale Displayausrichtung

(a) Aktuell sind alle Displays im Public und Private Space in der Arbeitsumgebung des Operators vertikal ausgerichtet.²⁴ (b) Die ehemals getrennten Arbeitsbereiche können durch ein gebogenes Display nahtlos zusammengeführt werden.

Ein gebogenes Display beeinflusst durch den nahtlosen Übergang von horizontalen und vertikalen Bereichen nicht nur die Interaktion positiv, sondern es können auch neuartige Visualisierungsformen eingesetzt werden, um die Wahrnehmung der Prozessdarstellungen zu fördern. Ziel des verfolgten Konzepts ist es, die horizontalen und vertikalen Anzeigebereiche so zu kombinieren, dass sowohl eine kontinuierliche Anzeige- als auch Interaktionsfläche entsteht.

4.4 Zusammenfassung und Implikation

Auf Basis der beschriebenen generischen Gestaltungsansätze werden in den beiden nächsten Kapiteln die Konzepte der holistischen Arbeitsumgebung anhand von konkreten *Design Cases* umgesetzt. Mit Hilfe dieser exemplarischen *Design Cases* werden sowohl die Interaktions- und Visualisierungskonzepte detailliert beschrieben als auch analytisch und empirisch evaluiert. Das vorgestellte Gestaltungsparadigma der *Blended Interaction* soll dabei helfen, Leitwarten von Morgen ganzheitlich an den Bedürfnissen und Fähigkeiten der Operatoren auszurichten.

Anhand der *Design Cases* aus Anwendungsdomänen werden die Anwendbarkeit und der potenzielle Nutzen der *Blended Interaction* im Hinblick auf die Gestaltung der Arbeitsumgebung von Leitwarten beschrieben.

Für die Gestaltung der Arbeitsumgebung lassen sich drei wesentliche Faktoren identifizieren, die in den *Design Cases* bedacht werden:

- (1) *Berücksichtigung menschlichen Vorwissens und menschlicher Fähigkeiten*
- (2) *Berücksichtigung der spezifischen Designanforderungen für die Domäne Leitwarte*
- (3) *Berücksichtigung realer und digitaler Eigenschaften in Form von Design Tradeoffs*

Abbildung 45 gibt einen Überblick über die vier *Design Cases*, die in den nachfolgenden Kapiteln ausführlich vorgestellt werden. Zusätzlich werden Ergebnisse aus experimentellen Benutzerstudien berichtet.

Innerhalb der *Design Cases* werden die Primärtätigkeiten der Operatoren behandelt, die die Überwachung, die Diagnose (siehe Kapitel 5) sowie Prozesseingriffe (siehe Kapitel 6) umfassen. Darüber hinaus wird innerhalb der manuellen Eingriffe ein Konzept vorgestellt, das das Führen von Protokollen und Schichtplänen im Rahmen von Dokumentationsaufgaben unterstützt (siehe Kapitel 6). Dabei soll ein nahtloser Übergang zwischen digitaler Welt und physischem Arbeitsbereich stattfinden.

²⁴ Pressebild: Siemens AG. (2006) Referenznummer: sosep200611-23, zuletzt aufgerufen am 02.06.2014.

Die Konzepte werden exemplarisch anhand von Anwendungsdomänen aus dem Bereich der Informations- und Produktionsprozesse erläutert. Um domänenübergreifende Aussagen ableiten zu können, sind aus dem Klassifikationsschema nach Johannsen (1993) zwei repräsentative technische Prozesse aus den Bereichen Information und Produktion gewählt worden.



Abbildung 45 Überblick über die Interaktions- und Visualisierungskonzepte

Für die Primärtätigkeiten **Überwachung und Diagnose** wird ein großes gemeinsam genutztes Wanddisplay verwendet (Überwachungs- und Diagnoseebene), und für **Prozesseingriffe** kommen Interactive Tabletops zum Einsatz (Manipulationsebene). Die Dokumentation erfolgt mittels Digital-Pen & Paper.

Das erste Szenario (*Design Case I*), das im Kontext der Verkehrsleitzentralen angesiedelt ist und somit zu den Informationsprozessen zählt, befasst sich innerhalb der Überwachungs- und Diagnoseebene vornehmlich mit dem Übersichts-Detail-Paradoxon in der Mehrbenutzerumgebung auf dem *Public Space*. Im Konzept wird die Synchronisation der horizontalen und vertikalen Arbeitsebenen beschrieben. Im Bereich der Überwachung und Diagnose wird zusätzlich ein Interaktions- und Visualisierungskonzept (*Design Case II*), das im Kontext der Kontrolle eines U-Bahnnetzplans angewandt wird und die Handlungen des Operators direkt im *Private Space* unterstützt, vorgestellt.

Die *Design Cases* im Zusammenhang mit direkten Eingriffen durch Manipulation von Prozessvariablen und die Dokumentation sind dem Kontext der Energiegewinnung (Produktionsprozesse) zuzuordnen. Dabei werden neben neuen Interaktionsformen der Manipulationsebene bei direkten Prozesseingriffen (*Design Case III*) unterschiedliche Dokumentationsformen (*Design Case IV*) aufgezeigt, die die Medienbrüche zwischen der digitalen und der realen Welt reduzieren.

5 Überwachung und Diagnose

Inhalt

5.1	Design Case I: Public Space.....	92
5.1.1	Motivation.....	93
5.1.2	Grundlagen – Navigations- und Visualisierungstechniken	94
5.1.3	Vorstudie zur Identifikation von Designanforderungen	107
5.1.4	Interaktionskonzept.....	119
5.1.5	Visualisierungskonzept.....	122
5.1.6	Interaktions- und Visualisierungskonzept der Manipulationsebene.....	126
5.1.7	Evaluation	128
5.1.8	Diskussion und Fazit.....	140
5.2	Design Case II: Private Space.....	143
5.2.1	Motivation.....	144
5.2.2	Grundlagen – Verbindung von Anzeigeflächen und Visualisierungen.....	145
5.2.3	Grundkonzept	149
5.2.4	Interaktionskonzept.....	151
5.2.5	Visualisierungskonzept.....	153
5.2.6	Evaluation	158
5.2.7	Diskussion und Fazit.....	166

Das vorgestellte Gestaltungsparadigma *Blended Interaction* wird im folgenden Abschnitt herangezogen, um die künftigen Benutzungsschnittstellen in Leitwarten ganzheitlich an den Bedürfnissen und Fähigkeiten der Operatoren auszurichten. Anhand von *Design Cases* aus Leitzentralen der Autobahn- und Schienenüberwachung werden die Anwendbarkeit und der mögliche Nutzen der *Blended Interaction* im Hinblick auf die Gestaltung der Arbeitsumgebung von Operatoren aufgezeigt. Dabei sollen die Primärtätigkeiten der Operatoren – die Überwachung, die Diagnose sowie Prozesseingriffe – mit Hilfe eines Interaktions- und Visualisierungskonzepts unterstützt werden. Die Konzepte beziehen sich vornehmlich auf die Überwachungs- und Diagnoseebene. Folgende Fragestellung soll in diesem Kapitel beantwortet werden:

(F3) Wie lassen sich nutzerzentrierte Interaktions- und Visualisierungskonzepte für die Überwachungs- und Diagnostätigkeiten unter Berücksichtigung aktueller Trends der MCI gestalten?

Im ersten Teil des Kapitels werden die entwickelten Interaktions- und Visualisierungskonzepte beschrieben, die die Operatoren bei ihren Primärtätigkeiten hauptsächlich auf dem *Public Space* in einer Mehrbenutzerumgebung der Verkehrsleitzentrale unterstützen. Im zweiten Teil wird ein *De-*

sign Case aus dem Bereich der Überwachung eines U-Bahnnetzplans vorgestellt. Hierbei liegt das Augenmerk auf der Arbeitsebene des *Private Space*. Die Konzepte der beiden *Design Cases* sind anhand von analytischen und empirischen Evaluationen untersucht worden.

5.1 Design Case I: Public Space

Die Untersuchung vor Ort hat gezeigt, dass zur Darstellung des gesamten Prozesses ein gemeinsam genutztes Wanddisplay (*Public Space*) eingesetzt wird, wohingegen spezifische Detailansichten auf mehreren kleinen Displays in der direkten Arbeitsumgebung (*Private Space*) visualisiert werden. Das eingesetzte Overview+Detail-Entwurfsmuster beinhaltet eine räumliche Trennung stark voneinander abhängiger Prozessvisualisierungen. Das führt dazu, dass der Operator bei der Arbeit mit den verteilten Ansichten sich stets visuell neu orientieren muss. Auch in der Verkehrsleitzentrale ist für den Operator bei Überwachungstätigkeiten der Überblick über den gesamten Informationsraum wichtig, um Zustandsänderungen sofort wahrnehmen zu können. Wird eine anormale Betriebsituation erkannt, müssen für die Diagnosetätigkeit sowohl kontextsensitive Prozessvariablen zum Objekt als auch zu den abhängigen Objekten verfügbar sein. Somit müssen geeignete Interaktions- und Visualisierungstechniken bereitgestellt werden, um das visuelle Umschalten zwischen den unterschiedlichen Sichten der Displayebenen zu reduzieren. Hierbei liegt die große Herausforderung u. a. darin, dass der Operator individuell durch die Konzepte sowohl direkt am Arbeitsplatz (*Private Space*) als auch in kooperativen und kollaborativen Situationen bei der Nutzung des gemeinsamen Wanddisplays (*Public Space*) unterstützt wird. Gerade für eine gute Zusammenarbeit ist es wichtig, dass Operatoren voneinander wissen, was die einzelnen Arbeitsumfänge sind, um diese koordinieren zu können (*Shared Situation Awareness*).

In diesem Abschnitt wird anhand einer Verkehrsleitzentrale ein Konzept für die Navigation und Überwachung eines komplexen Straßennetzes vorgestellt, das dem Operator eine pfadgebundene Navigation ermöglicht. Abgesehen von einem vertikal orientierten Wanddisplay für die Überwachungs- und Diagnosetätigkeiten im *Public Space* (siehe Abbildung 46a) wird ein horizontales Interactive Tabletop für die Manipulation im *Private Space* (siehe Abbildung 46b) eingesetzt.

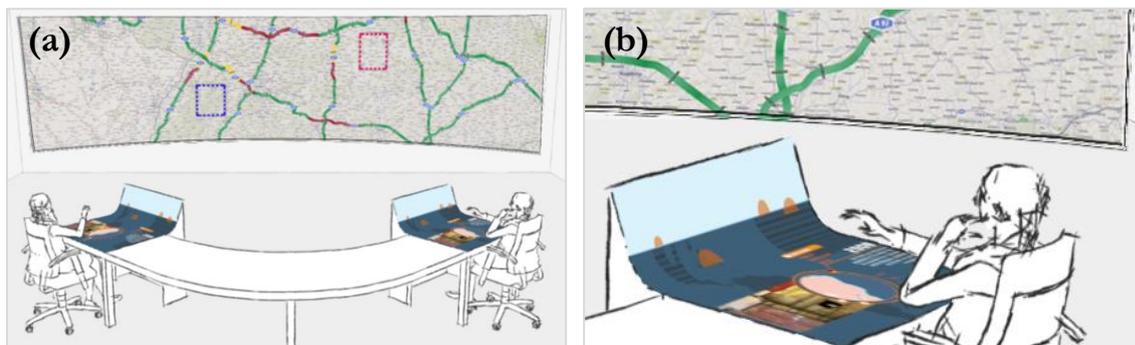


Abbildung 46 Konzept für die Überwachung und Diagnose im Public Space

Space:	Public (Fokus) und Private
Primärtätigkeit:	Überwachung und Diagnose
Domäne:	Verkehrsüberwachung
Aufbau:	Wanddisplay, Interactive Tabletop, SpaceNavigator
Arbeitsebene:	Vertikal und horizontal

Zum einen soll die Navigation im Straßennetz neu gestaltet und zum anderen die Verfügbarkeit kontextsensitiver Informationen durch eine verbesserte Visualisierung gewährleistet werden. Gleichzeitig wird die nonverbale Absprache gefördert, indem geeignete Interaktions- und Visualisierungskonzepte eingesetzt werden. Dabei werden die Primärtätigkeiten der Überwachung eines Prozesses, die Diagnose einer Problemursache und die Manipulation von Prozessvariablen in einer

Arbeitsumgebung mit zwei Operatoren unterstützt. Die Tätigkeiten im Kontext der Manipulation werden in diesem Abschnitt nur angedeutet, da eine Vertiefung der Manipulation von Prozessvariablen in Abschnitt 6.1 folgt. Um jedoch ein ganzheitliches Konzept der Arbeitsumgebung von Operatoren beschreiben zu können, wird bereits in diesem Abschnitt auf die Manipulation vorgegriffen. Abschließend werden die Ergebnisse der Expertenbeurteilung vorgestellt.

Teile dieses Abschnitts sind bereits veröffentlicht worden in:

Schwarz, Tobias; Butscher, Simon; Müller, Jens; Reiterer, Harald: Blended Interaction – Neue Wege zur Vermischung realer und digitaler Interaktionskonzepte im Kontext von Leitwarten. In at – Automatisierungstechnik (Multimodale Interaktion), Oldenbourg Verlag, S. 749-759, November 2013.

Schwarz, Tobias; Butscher, Simon; Müller, Jens; Reiterer, Harald: Ein Multi-Focus-View Konzept im Kontext der Verkehrsleitzentrale. In Mensch & Computer 2012: interaktiv informiert – allgegenwärtig und allumfassend!?, Konstanz (Deutschland), Oldenbourg Verlag, S. 43-52, September 2012.

Schwarz, Tobias; Butscher, Simon; Müller, Jens; Reiterer, Harald: Content-aware navigation for large displays in context of traffic control rooms. In Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces – AVI '12, Capri Island (Italy), ACM Press, P. 249-252, May 2012.

Butscher, Simon; Schwarz, Tobias; Müller, Jens; Reiterer, Harald: Monitoring of processes and manipulation of process variables in the context of a multi-user setting in a traffic control room. In Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter Conference – HFSE '11 (Poster Session), Leeds (United Kingdom), October 2011.

Schwarz, Tobias; Butscher, Simon; Müller, Jens; Reiterer, Harald: Inhaltssensitive Navigation in der Verkehrsleitzentrale. In Mensch & Computer 2011: überMEDIEN|ÜBERmorgen, Chemnitz (Deutschland), Oldenbourg Verlag, S. 49-58, September 2011.

Bei der Bearbeitung des *Design Case* ist der Autor von einem studentischen Mitarbeiter der Universität Konstanz unterstützt worden. Der Autor der vorliegenden Arbeit ist für den ganzheitlichen Forschungskontext verantwortlich, und zwar für Anforderungen, Interaktions- und Visualisierungskonzepte sowie Durchführung der experimentellen Benutzerstudie im Labor und vor Ort bei den Operatoren. Simon Butscher hat im Rahmen seiner Masterarbeit (Butscher, 2012) bei der Gestaltung und Ausarbeitung der Interaktions- und Visualisierungskonzepte, der Implementierung sowie bei der Organisation, Durchführung und Auswertung der experimentellen Benutzerstudien mitgewirkt.

5.1.1 Motivation

Aufgrund der zunehmenden Komplexität der zu überwachenden Prozesse ist die ständige Kommunikation unter den Operatoren von enormer Bedeutung. So müssen sich die Operatoren beispielsweise abstimmen, wer im Team auf ein eintretendes Ereignis, z. B. stockender Verkehr wegen eines Pannenfahrzeugs, reagieren soll. Um die Abstimmung zwischen den Operatoren effizienter zu gestalten, müssen zusätzliche Möglichkeiten geschaffen werden, die die nonverbale Kommunikationsform stärker einbeziehen. Gerade im Arbeitskontext von Überwachungs- und Diagnosedäten, wenn mehrere Operatoren zusammenarbeiten, benötigen diese eine Übersicht über den zu überwachenden Raum. Gleichzeitig werden aber von den einzelnen Operatoren je nach Bedarf entsprechende Detailinformationen für die Diagnosedäten gebraucht. Derzeit besteht keine Verbindung zwischen dem großen Wanddisplay des zu überwachenden Straßennetzes und den Displays direkt am Arbeitsplatz, die das Verkehrsaufkommen eines Streckenabschnitts detailliert anzeigen. Dadurch fällt die Erstellung eines mentalen Modells über den vollständigen Informationsraum

schwer. Durch die begrenzte Anzeigefläche des großen Wanddisplays kann dabei immer nur ein Teil des Straßennetzes oder das ganze Netz mit verringertem Detailgrad gezeigt werden. Will der Operator einen wichtigen Streckenabschnitt (z. B. Stauanfang) identifizieren, muss er durch die Kartendarstellung navigieren können. Die Navigation am Straßenverlauf entlang ist derzeit lediglich über vertikales und horizontales Scrollen (Zerlegung in horizontale und vertikale Richtung) oder Pannen (Zerlegung der Interaktion durch Nachgreifen) möglich. Dadurch wird die Navigation in künstliche Teilschritte zerlegt.

In diesem *Design Case I* liegt der Hauptfokus auf der Gestaltung der Konzepte im Bereich der persönlichen und sozialen Interaktion sowie auf der Unterstützung der Workflows (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9 Unterstützung der Gestaltungsebenen in Design Case I

 Hauptfokus	 Fokus	 Berücksichtigt
 Persönliche Interaktion	 Workflow	
 Soziale Interaktion	 Physische Arbeitsumgebung	

Innerhalb der Gestaltungsebenen der persönlichen Interaktion eines einzelnen Operators sind sowohl eine effiziente Steuerung des Wanddisplays als auch das Abrufen von lokalen Detailinformationen verortet, ohne zugleich den Kontext zu verlieren. Im Rahmen der sozialen Interaktion soll vor allem die nonverbale Koordination zwischen den Operatoren gefördert werden. Im Sinne einer Unterstützung des Workflows sind die Prozessüberwachung, die Problemdiagnose und die Manipulation von Prozessvariablen ganzheitlich berücksichtigt worden. Folgende Fragestellungen sollen in diesem Abschnitt beantwortet werden:

(F1) Wie kann die Interaktion für den Operator sowohl auf der Überwachungs- und Diagnoseebene als auch auf der Manipulationsebene verbessert werden?

(F2) Wie kann durch geeignete Interaktions- und Visualisierungstechniken die nonverbale Koordination zwischen den Operatoren gefördert werden?

Um diese Fragestellungen zu beantworten, ist ein Interaktions- und Visualisierungskonzept im Kontext einer Verkehrsleitzentrale erstellt worden. Das Konzept der *Multifokus-View* in Verbindung mit der *inhaltssensitiven Navigation* wird verfolgt, um das kooperative Arbeiten zu fördern. Ziel ist zum einen die Verbesserung der Navigation im Straßennetz, die schnelle Verfügbarkeit kontextsensitiver Informationen und zum anderen die optimierte Manipulation von Prozessvariablen.

5.1.2 Grundlagen – Navigations- und Visualisierungstechniken

Die Herausforderung in großen Informationsräumen liegt im geringen Platz, der zur Verfügung steht, um Objekte darstellen zu können. Leung und Apperley (1994) leiten in diesem Zusammenhang drei Problemstellungen innerhalb von großen Informationsräumen ab: (1) das Auffinden eines bekannten Informationsobjekts, (2) die Interpretation eines Informationsobjekts und die (3) Wahrnehmung der Relationen zwischen Informationsobjekten. Diese drei Aspekte müssen bei der Auswahl von Interaktions- und Visualisierungstechniken berücksichtigt werden, um die Operatoren bei ihren Primärtätigkeiten zu unterstützen.

Im Folgenden wird eine Übersicht von Navigationskonzepten gegeben, die sich in *inhaltssensitiven* und *inhaltssensitiven* Navigationstechniken untergliedert. Im zweiten Teil des Abschnitts werden Multiscale-Anwendungen beschrieben, die die Visualisierung von sehr großen Datenmengen in unter-

schiedlichen Detaillierungsgraden auf begrenztem Raum ermöglichen. Ferner werden Multiscale-Anwendungen im Kontext der Prozessvisualisierung von Leitwarten vorgestellt.

Navigationstechniken

Gerade für die Diagnosesetätigkeiten auf großen Wanddisplays müssen wohlbedachte Navigationskonzepte eingesetzt werden, um den Operator vor allem bei den Diagnosesetätigkeiten zu fördern. Voraussetzung für eine gute Nutzbarkeit der Techniken ist es, dass diese in einem großen Informationsraum mit einem geringen Anzeigebereich die Interaktion des Operators unterstützt.

Im Folgenden werden Konzepte vorgestellt, die sich in *inhaltsinsensitive* und *inhaltsensitive* Navigationstechniken gliedern lassen. Der zugrundeliegende Datenraum wird in den *inhaltsinsensitiven Navigationstechniken* nicht in die Navigation einbezogen. Im Gegensatz dazu wird bei der *inhaltsensitiven Navigation* der Datenraum herangezogen, um die Interaktion des Nutzers zu unterstützen.

Inhaltsinsensitive Navigation – Allgegenwärtig sind hierbei Basistechniken wie *Scroll-Balken*, *Vector-Scrolling*, *Point of View*-Navigation sowie das *Panning*, die den Inhalt des Informationsraums während der Interaktion nicht berücksichtigen. Diese Techniken, die im Anschluss vorgestellt werden, sind in heutigen Leitwarten weit verbreitet und dienen dazu, in den Prozessvisualisierungen zum gewünschten Bereich zu navigieren.

Der Scroll-Balken wird häufig in herkömmlichen Desktop-Anwendungen eingesetzt, um in Dokumenten zu navigieren. Mittels horizontal und vertikal angeordneter Scroll-Balken kann durch das Scrolling der Viewport verschoben werden. Dabei wird entsprechend die Ausdehnung des Viewport im Verhältnis zur Größe des Gesamtdokuments angezeigt. Informationen, die nicht im Viewport visualisiert sind, bleiben verborgen. In der Literatur finden sich einige Ansätze wie *AlphaSlider* von Ahlberg und Shneiderman (1994), die mit einer zusätzlichen Visualisierung die Inhalte des Informationsraums in einer Art Vorschaufunktion darstellen.

Mit Hilfe des Vector-Scrolling können sowohl die Navigationsrichtung als auch die Geschwindigkeit mit Maus oder Joystick reguliert werden, um den Viewport zu verschieben. Das Eingabegerät gibt dabei die Richtung in Form eines Vektors vor. Der Ausschlag beim Joystick oder die Distanz der Verschiebung per Maus wirken sich dabei auf die Scroll-Geschwindigkeit aus. Das hat den Vorteil, dass die Nutzerinteraktion nicht in künstliche Schritte unterteilt wird. Neben den positiven Aspekten des Vector-Scrolling, die sich aus der einfachen Interaktion ohne Zerlegung in künstliche Teilschritte ergeben, ist die Scroll-Geschwindigkeit limitiert, da nach Igarashi und Hinckley (2000) zu hohe Navigationsgeschwindigkeiten zu einer Desorientierung führen können. So liegt es nahe, dass es durch die begrenzte Scroll-Geschwindigkeit zu Verzögerungen kommen kann, wenn die Aufgabe darin besteht, im Informationsraum zu einer entfernten Position zu navigieren. Entscheidend bei dieser Technik ist das Eingabegerät, denn der Richtungsvektor muss exakt definiert sein, um genau den Zielpunkt ansteuern zu können. Eine Untersuchung von Zhai, Smith und Selker (1997) zeigt, dass Vector-Scrolling in Verbindung mit einem joystickartigen Eingabegerät dem traditionellen Scroll-Balken in Verbindung mit der Mausinteraktion bei der Navigation im großen Datenraum überlegen ist.

Bei der Point of View-Technik wird die Zielposition direkt vom Nutzer annavigiert. Dabei ist die Geschwindigkeit der Navigation unabhängig von der Skalierung, um die Zielposition zu erreichen (Mackinlay, Card & Robertson, 1990). Die Navigation zu einem spezifischen Punkt auf dem sichtbaren Informationsraum ist bei dieser Technik sehr präzise und somit effektiv. Jedoch gilt es zu beachten, dass im Kontext von großen Informationsräumen die Point of View-Navigation nicht optimal eingesetzt werden kann, da die Navigation in viele Teilschritte gegliedert wird. Die Navigation an Pfaden bzw. Kanten entlang wird nicht unterstützt, ist aber durch sehr viele Einzelinteraktionen zu den jeweiligen markanten Punkten prinzipiell möglich.

Im Gegensatz zur Point of View-Navigation wird beim Panning nicht der Zielpunkt definiert, sondern über das Zeigergerät ein Startpunkt festgelegt und durch direkte Manipulation verschoben. Somit wird durch das Verschieben des Zeigergeräts der angeheftete Informationsraum bzw. der Viewport verschoben. Die maximale Distanz, die mit einer Pan-Interaktion zurückgelegt werden kann, entspricht der Diagonalen des Viewport. Folglich muss die Navigation bei sehr großen Informationsräumen in Teilschritte unterteilt werden, was wiederum viel Zeit in Anspruch nimmt. So muss auf dem großen Wanddisplay im Leitwartenkontext entweder eine umfangreiche Bewegung mit dem Eingabegerät durchgeführt werden, oder der *Control-Display-Ratio*²⁵ wird angepasst. Dabei gilt es jedoch, bei der Anpassung des *Control-Display-Ratio* zu beachten, dass die notwendige Präzision während der Interaktion zunimmt.

Inhaltssensitive Navigation – Der Inhalt wird bei der *inhalts sensitiven Navigation* des Informationsraums berücksichtigt, z. B. die Anordnung der Daten bzw. die Topologie. Die Anforderungen ergeben sich in erster Linie aus dem domänenspezifischen Datenraum und den entsprechenden Informationen. Je nach Anforderungen können unterschiedliche Techniken eingesetzt werden. Einige Techniken verwenden lediglich die Knotenpunkte in einer Netzstruktur für die Navigation zwischen diesen Punkten. Andere Technologien hingegen verwenden die einzelnen Kanten zwischen den Knotenpunkten im Informationsraum als Navigationselemente. Des Weiteren existieren Techniken, die die Knoten und Kanten und die Information über die Beziehungen der benachbarten Objekte zueinander, d. h. die gesamte Topologie der netzwerkartigen Struktur, berücksichtigen. Die im Folgenden vorgestellten Navigationskonzepte kombinieren meist Interaktion und Transformation im Informationsraum.

Pfad-Navigationstechniken verwenden den Verlauf eines Pfads, um die Navigation zu optimieren. Um die Richtung der Navigation zu bestimmen, werden die Inhalte des Informationsraums analysiert und für die Navigation berücksichtigt. Im Folgenden wird exemplarisch das *Content-Aware Scrolling* als Pfad-Navigationstechnik vorgestellt.

Beim Ansatz *Content-Aware Scrolling* von Ishak und Feiner (2006) werden die Geschwindigkeit sowie die Zoomstufe in Abhängigkeit vom Inhalt eines Dokuments dynamisch angepasst. Im Datensatz werden wichtige Bereiche identifiziert, die sowohl die Scroll-Richtung als auch die Geschwindigkeit und die Zoomstufe steuern (siehe Abbildung 47a). Wird beispielsweise vom Nutzer nach einem Begriff in einem mehrspaltigen Dokument gesucht, werden alle Bereiche, in denen die Suchanfrage vorkommt, als interessant markiert. Diese Bereiche werden beim Scrollen im Dokument automatisch nacheinander annavigiert.

Abbildung 47b zeigt ein Beispiel, in dem die Aufgabe darin besteht, den Text zu lesen. Die Navigation innerhalb des Dokuments wird mit Hilfe von Pfaden an den Spalten ausgerichtet. Dabei passt sich die Navigationsgeschwindigkeit dynamisch, d. h. in Abhängigkeit von der Distanz zwischen den zentralen Bereichen, an. Bei großen Distanzen wird die Scroll-Geschwindigkeit, also der *Control-Display-Ratio*, erhöht. Die Zoomstufe basiert auf dem *Speed Dependent Automatic Zooming* von Igarashi und Hinckley (2000). Dabei hängt die Zoomstufe von der Distanz zwischen der aktuellen Position sowie dem nächstliegenden interessanten Bereich ab.

Im Leitwartenkontext kann die Technik in netzwerkartigen Strukturen wie dem Stromnetz angewendet werden, um den Kanten zu folgen und somit die Ursache eines Lastabfalls zu identifizieren. Da die Technik für die Navigation nur wenig Präzision erfordert – entlang einer Kante gibt es ausschließlich zwei mögliche Navigationsrichtungen – eignet sich der Ansatz insbesondere auch für entfernte Displays.

²⁵ Control-Display-Ratio ist das Verhältnis aus der Bewegungsgeschwindigkeit eines Eingabegeräts und der resultierenden Bewegung des Zeigers (Gibbs, 1962).

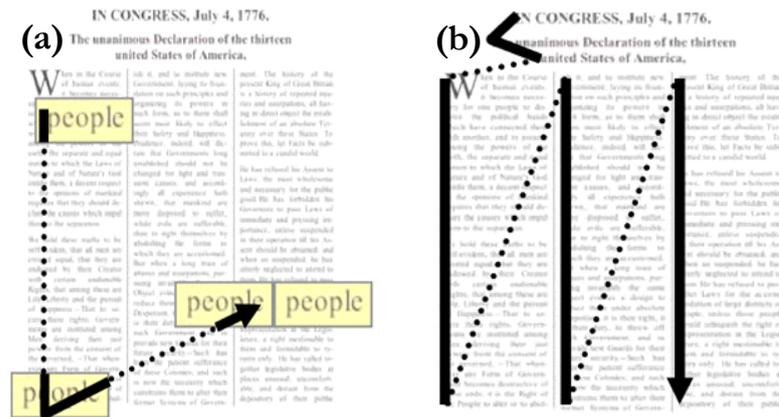


Abbildung 47 Content-Aware Scrolling-Technik

(a) Das Beispiel zeigt die Unterstützung bei der Suche nach Wörtern in Dokumenten. (b) Die Pfade werden entlang der drei Textspalten ausgelegt, dies soll den Nutzer beim Lesen des Dokuments unterstützen (Ishak & Feiner, 2006).

In den Konzepten der *topologischen Navigation*, die vornehmlich in netzartigen Strukturen zum Einsatz kommt, wird eine Unterteilung in Visualisierung und Interaktion vorgenommen. Dabei wird die Topologie abhängig von der Präsentation des Informationsraums angepasst, um die Interaktion zu verbessern. Diese Form der Navigation ermöglicht es, die Größe und damit die Sichtbarkeit von einzelnen Objekten in Abhängigkeit von der topologischen Distanz zu ändern. Im Folgenden werden zwei Techniken, *Link Sliding* und *Bring & Go*, nach Moscovich, Chevalier, Henry, Pietriga und Fekete (2009) vorgestellt. Diese nutzen sowohl Knoten als auch Kanten, um die Navigation für den Nutzer zu optimieren.

Im Gegensatz zu den Basistechniken wie Pan & Zoom, die zuvor beschrieben worden sind, wird beim *Link Sliding* die Interaktion dahingehend vereinfacht, dass die Freiheitsgrade begrenzt werden. Diese lehnen sich an die Navigationsrichtung der Kante an. Die Navigation entlang der Kante funktioniert analog zum Vector-Scrolling mit der Maus. Der Nutzer gleitet entlang der Kante zum nächsten Knotenpunkt, indem er grob in Richtung der Kante navigiert. Dabei ist der Mauszeiger mit einer Art Magnetfunktion an die Kante geheftet (siehe Abbildung 48a).

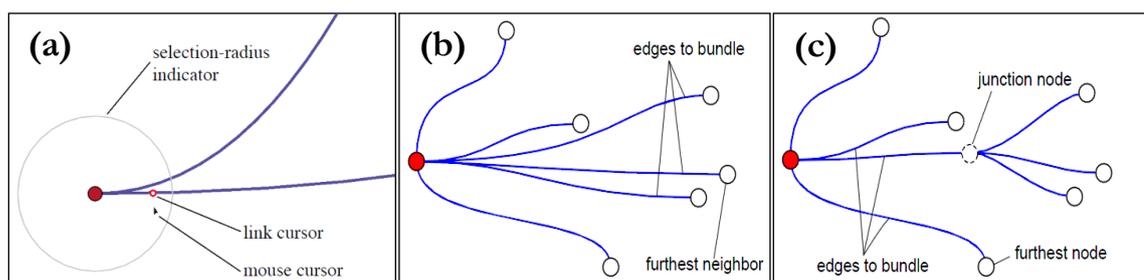


Abbildung 48 Link Sliding und Edge Bundling

(a) Die Selektion an Knotenpunkten erfolgt durch den Link Cursor, der sich an die nächstgelegene Kante im Selektionsradius anheftet. (b) Bei mehr als fünf Knotenpunkten werden diese am nächstgelegenen Punkt (edges to bundle) zusammengefasst. (c) Das Beispiel zeigt den eingefügten Knoten (junction node) mit dem Abgang von drei Kanten (Moscovich et al., 2009).

Für die Navigation ist kein hohes Maß an Präzision erforderlich, da Bewegungen senkrecht zur Kante ignoriert werden. Der Zeiger wird immer an der nächstgelegenen Kante positioniert. Dabei wird der sichtbare Ausschnitt entsprechend verschoben, damit der Mauszeiger im ursprünglichen Bildausschnitt bleibt. An Knotenpunkten wird jene Kante selektiert, die am nächsten an der Navi-

gationsrichtung liegt. Innerhalb eines fest definierten Radius wird an Knotenpunkten ein Kreis dargestellt, der dem Nutzer signalisiert, dass er den Mauszeiger frei bewegen und somit der gewünschten Kante folgen kann. Der *Link Cursor* kennzeichnet durch einen kleinen roten Kreis (siehe Abbildung 48a) die nächsten Kanten und fungiert als Anzeige der aktuellen Selektion. Verlässt der *Link Cursor* den Kreis durch Interaktion des Nutzers, wird der Mauszeiger auf den *Link Cursor* projiziert und die Navigation entlang der Kante fortgesetzt. Das *Link Sliding* zeigt nur maximal fünf Kanten, die von einem Knoten ausgehen, an. Sind mehr als fünf Kanten im Informationsraum abgebildet, werden beieinander liegende Kanten zusammengefasst (siehe Abbildung 48b). Die gebündelten Kanten, die als *Edge Bundling* bezeichnet werden, werden nach einem vordefinierten Abstand zum Knoten wieder getrennt. Dadurch wird ein neuer Knoten in die Struktur eingefügt (siehe Abbildung 48c). Dieser Vorgang mit Hilfsknoten wird so lange ausgeführt, bis die maximale Zahl von fünf Kanten für einen Knotenpunkt erlangt worden ist. Zusätzlich wird die Zoomstufe automatisch, d. h. in Abhängigkeit von der Distanz zwischen zwei Knotenpunkten und der aktuellen Position auf der Kante, angepasst. Der Vorteil für den Operator bei dieser Technologie ist, dass die Navigation sich an den Kanten ausrichtet. Ähnlich zum zuvor beschriebenen *Content-Aware Scrolling* werden auch unpräzise Eingaben, die sich, bedingt durch die Entfernung vom Wanddisplay, ergeben, toleriert. Allerdings beinhaltet dieses Konzept keine Übersicht über den gesamten Informationsraum, und die schnelle Navigation zu einem bestimmten Knoten wird nicht unterstützt.

In der *Bring & Go*-Technik (Moscovich et al., 2009) werden angrenzende Knoten mittels Animation in den sichtbaren Anzeigebereich verschoben. Dem Nutzer werden zusätzliche Kontextinformationen angezeigt, indem die Kanten auch in den sichtbaren Bereich bewegt werden. Die verwendeten Proxys haben gerade für geografische Darstellungen gegenüber einer Verzerrung den Vorteil der Beibehaltung der räumlichen Konstanz (Moscovich et al., 2009). Von einem aktuell selektierten Knoten kann ein verbundener über eine Selektion von diesem erreicht werden, was eine animierte Verschiebung des Viewport auslöst. Ebenso wird das automatische Zooming, wie es zuvor beim *Link Sliding* beschrieben worden ist, eingesetzt. Alle Knoten und Verbindungen werden mit einer zusätzlichen Animation an ihren anfänglichen Platz im Informationsraum positioniert. Somit wird die Ausgangssituation, also das ursprüngliche Netzwerk, wiederhergestellt. Auf der Basis des neuen Knotenpunkts kann eine weitere Navigation entlang einer Kante ausgelöst werden. Abbildung 49a zeigt die Fluglinien der Ab- und Anflüge von und auf Sydney. Dabei bleibt die Topologie der Netzstruktur erhalten (siehe Abbildung 49b).

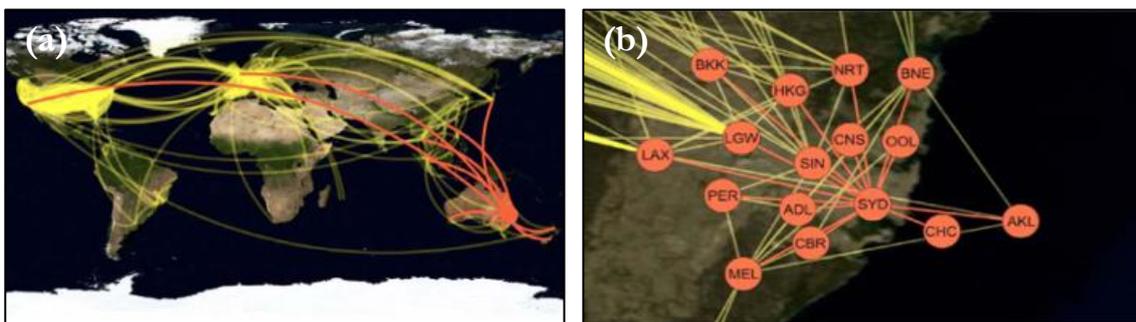


Abbildung 49 **Bring & Go-Technik**

(a) Darstellung der Ab- und Anflüge in Sydney; (b) *Bring & Go*, angewandt auf Sydney mit Erhalt der topologischen Netzstruktur (Moscovich et al., 2009)

Die Interaktion selbst ist von der Handhabung sehr einfach gehalten und kann auch für entfernte Displays eingesetzt werden. Als größte Stärke dieser Technologie ist die direkte Navigation zu Knoten zu nennen. Jedoch wird die Navigation an Kanten entlang zum Abrufen von Detailinformationen nicht unterstützt. Gerade für den Einsatz im Leitwartenkontext weisen die Techniken *Content-*

Aware Scrolling, *Link Sliding* und *Bring & Go* große Potenziale auf. So wird in der Arbeit ein Konzept verfolgt, das die einzelnen Stärken der vorgestellten Techniken zusammenführt. Das *Content-Aware Scrolling* in Verbindung mit einem joystickartigen Eingabegerät, wie es heute schon teilweise zur Steuerung von Überwachungskameras eingesetzt wird, ist für die Überwachungs- und Diagnosetätigkeiten auf entfernten Displays ein mögliches vielversprechendes Einsatzgebiet. Denn diese Technik unterstützt auch unpräzise Eingabe während den Navigationsaufgaben. Für die Navigation entlang von Kanten erscheint auch das *Link Sliding* nutzbringend. Jedoch hat die Technik Schwächen, wenn einzelne Knotenpunkte im Netz schnell erreicht werden müssen. Das wiederum ist die Stärke von *Bring & Go*-Konzepten, da der Ansatz die Möglichkeit einer schnellen Navigation durch eine topologische Struktur bietet.

Multiscale-Anwendungen zur Informationsvisualisierung

Die visuelle Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine in der Leitwarte ist die virtuelle Prozessvisualisierung. Prozesszusammenhänge sollen möglichst direkt visualisiert werden, da die Interpretation und damit das Decodieren der dargestellten Information verringert wird (siehe Abschnitt 2.2.1). Aus diesem Grund ist eine realweltliche Prozessdarstellung nach Wittenberg (2001) enorm wichtig, um anhand der wahrgenommenen Information den Systemzustand ableiten zu können. Dabei besteht die große Herausforderung in der übersichtlichen Präsentation komplexer Informationen auf begrenzten Anzeigenflächen. Neben den globalen Übersichten über den Gesamtprozess ist es für den Operator essenziell, schnellstmöglich Zugang zu Detailinformationen zu bekommen.

Die Datenanalyse erfolgt beim Menschen in drei Schritten (Keim, 2002; Shneiderman, 1996). Zunächst verschafft sich der Operator einen Überblick über die Daten im Informationsraum (*Overview*). Anhand der Übersicht kann der Operator interessante Daten erkennen, die im Folgenden mit unterschiedlichen Techniken (z. B. Zooming) genauer analysiert werden können. Für die abschließende Analyse benötigt der Operator schnellen Zugriff auf Detailinformationen (*Details-on-Demand*). Nach Keim (2002) fällt es schwer, die Übergänge zwischen den unterschiedlichen Schritten während der Datenanalyse zu überbrücken. Dabei sind die Übersicht sowohl über den gesamten Datenraum als auch über die fokussierte Darstellung von Detailinformationen konkurrierende Ziele, die aufeinander abgestimmt werden müssen.

Im Fokus der vorliegenden Arbeit steht dabei die Interaktion mit Visualisierungen, die eine Übersicht über den Informationsraum sowie Detailinformationen bereitstellen. Furnas und Bederson (1995) bezeichnen Darstellungsformen zur Visualisierung von komplexen Informationsräumen, die dem Nutzer erlauben, Informationsobjekte in unterschiedlichen Vergrößerungsstufen zu betrachten, als Multiscale-Anwendungen. Im Folgenden werden besonders Visualisierungen betrachtet, die den Prozess in seiner Ganzheit möglichst realitätsnah abbilden. In Bezug auf abstraktere Darstellungsformen von Informationen wie die Visualisierung von mehrdimensionalen Daten, Hierarchie- oder Netzwerkvisualisierungen wird auf weiterführende Literatur von Spence (2007) und Ware (2013) verwiesen. Interaktions- und Visualisierungstechniken für große multiskalare Datenräume können nach Cockburn et al. (2008) in drei grundsätzliche Ansätze unterteilt werden: *Zooming*, *Overview+Detail* und *Focus+Context*.

Zooming – Das Grundkonzept von *Zooming* besteht darin, dass unterschiedliche Detailgrade der zu visualisierenden Daten durch eine zeitliche Trennung realisiert werden (siehe Abbildung 50a). Dabei werden die unterschiedlichen Vergrößerungen bzw. die Detailgrade des Informationsraums nacheinander dargestellt. Zu Beginn muss ein Punkt im Informationsraum definiert werden, der als Zentrum für die Skalierungsfunktion fungiert. In Kombination mit *Zooming* wird häufig die Pan-Technik angewendet, um so vergrößerte Ansichten im nicht sichtbaren Anzeigebereich betrachten zu können. Abbildung 50b zeigt eine Kombination aus Zoom- und Pan-Technik. Bei dieser Visualisierungstechnik wird die Bildung der räumlichen Vorstellung in Bezug auf den Informationsraum

nicht unterstützt. Gründe hierfür sind sowohl die Abhängigkeiten bei der Verschiebung des Viewport als auch die Vergrößerung des Datenraums. Durch den Bezug zwischen Viewport und Vergrößerung werden die Positionen der Objekte beim Zooming ständig im Informationsraum geändert.

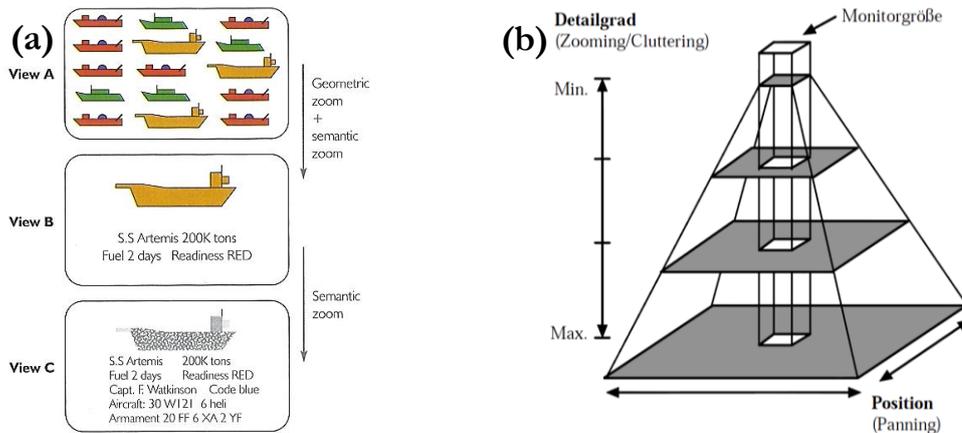


Abbildung 50 Semantisches Zooming und Space Scale-Diagramm

(a) Darstellung mit unterschiedlichen Detailgraden (View A bis View C) (Spence, 2007); (b) Schematische Darstellung einer kombinierten Zoom- und Pan-Operation; zitiert nach Butscher (2012), Original in Aumayr und Trittinger (1992)

Im Anwendungskontext von Leitwarten entsteht durch die zeitliche Trennung der Darstellungen ein weiteres Problem, denn der Operator muss sich zwischen der Betrachtung von Detailinformationen oder der ganzheitlichen Prozessübersicht entscheiden. Dabei wird die Interaktion sehr uneffektiv, denn bei geografisch weit entfernten Punkten im Informationsraum muss ständig zwischen den Zoomstufen umgeschaltet werden. Um dem entgegenzuwirken, stellen Baudisch, Good, Bellotti und Schraedley (2002) ein Konzept vor, das dem Nutzer ermöglicht, Pan- und Zoom-Parameter abzuspeichern und wiederherzustellen. Eine weitere Lösungsalternative ist das *Speed Dependent Automatic Zooming* (Igarashi & Hinckley, 2000). Das Konzept beinhaltet einen voll automatisierten Ansatz durch Kopplung zwischen der Pan- und Zoom-Operation. Wird eine Pan-Bewegung durch den Nutzer ausgeführt, erfolgt gleichzeitig das Zooming. So verringert sich der Skalierungsfaktor beim schnellen Pannen bzw. Scrollen, und der Nutzer nimmt die Pan-Geschwindigkeit als konstant wahr. Das erhöht die Übersichtlichkeit im Informationsraum. Bei der Überwachung technischer Prozesse wird häufig das semantische Zooming zur Darstellung von Detailinformationen eingesetzt. Bei diesem Konzept wird der Detailgrad in Abhängigkeit von der gewählten Zoomstufe visualisiert. Somit können die Details des technischen Prozesses erst bei Bedarf angezeigt werden, wodurch die Gefahr der Informationsüberflutung verringert wird. Um die Übergänge der unterschiedlichen Detaillierungsstufen möglichst gering zu halten, werden häufig Animationen eingesetzt.

Auf dem Wanddisplay (*Public Display*) ist der Einsatz von Zoom-Techniken nicht geeignet, da dies die Abstimmung der Operatoren auf einen Prozessausschnitt und eine Zoomstufe erfordern würde. So ist in der Mehrbenutzerumgebung eine gleichzeitige Betrachtung unterschiedlicher Regionen im Informationsraum nicht möglich. Jedoch kann durch den Einsatz von *Split Screen*-Darstellungen Abhilfe geschaffen werden, indem die Bildschirme in unterschiedliche Bereiche eingeteilt werden. In diesem Zusammenhang sprechen Elmquist, Henry, Riche und Fekete (2008) von sog. multifokalen Ansichten, die für die jeweiligen Bereiche eigenständige Pan- und Zoom-Interaktionen ermöglichen. Bei diesem Ansatz haben aber die Operatoren beim gemeinsamen Arbeiten auf dem Wanddisplay weder Information über Zusammenhänge und Distanzen noch eine räumliche Orientierung über die geteilten Bereiche hinweg.

Overview+Detail – Im Gegensatz zum Zooming, das mit zeitlicher Trennung Informationen visualisiert, werden bei der Overview+Detail-Visualisierungstechnik die verschiedenen Detail- bzw. Vergrößerungsstufen durch räumliche Trennung umgesetzt. Dabei werden sowohl die Übersichts- als auch Detailinformationen parallel jeweils in einem distinkten Bereich dargestellt. Bezüglich der verwendeten Anzeigeflächen bestehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten. Die einfachste Form von Overview+Detail-Benutzungsschnittstellen sind zwei räumlich getrennte Präsentationsräume, z. B. zwei getrennte Bildschirme oder Fensteransichten (siehe Abbildung 51a). Somit wird auf einem Übersichtsbild, das den gesamten Informationsraum mit sehr geringer Zoomstufe zeigt, zusätzlich der Detailbereich mit einem vergrößerten Ausschnitt separat dargestellt. Im Detailbereich kann so ein Ausschnitt des Informationsraums sehr detailliert und hochauflösend betrachtet werden. Gleichzeitig wird zur besseren Orientierung der entsprechende Ausschnitt durch einen Marker im Übersichtsbereich gekennzeichnet. Der Marker repräsentiert jederzeit den exakten Ausschnitt des Informationsraums im Übersichtsfenster.

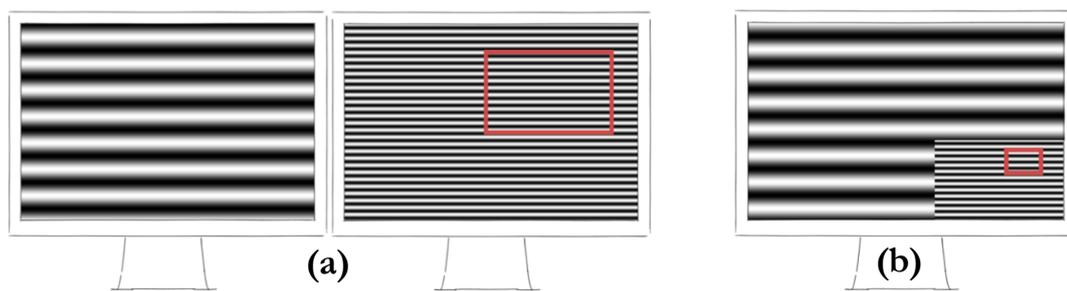


Abbildung 51 Overview+Detail-Visualisierung

**(a) Overview+Detail-Entwurfsmuster auf zwei Bildschirmen, linker Bildschirm Vergrößerung des rot gekennzeichneten Ausschnitts des rechten Bildschirms;
(b) Overview+Detail-Entwurfsmuster auf einem Bildschirm**

Die zweite Möglichkeit ist die Anzeige der Bereiche auf einem Display als Fensteransicht (siehe Abbildung 51b). Durch die räumliche Trennung der Informationsräume interagieren die Nutzer mit den Ansichten separat. Dabei entsteht bei den Visualisierungskonzepten mit räumlicher Trennung der Ansichten ein erheblicher Nachteil, da die unterschiedlichen Darstellungen mental beim Nutzer zusammengeführt werden müssen (Baudisch et al., 2001). So zeigen Untersuchungen, dass für den Nutzer eine zusätzliche kognitive Belastung entsteht (Hornbæk, Bederson & Plaisant, 2002). Diese Belastung resultiert vor allem daraus, dass der Kontext des gewählten Ausschnitts nicht direkt erhalten bleibt, sondern ständig durch den Nutzer neu hergestellt werden muss. Overview+Detail-Konzepte haben gegenüber Zoom-Konzepten Vorteile, wenn Informationen zwischen zwei unterschiedlichen Bereichen miteinander verglichen werden müssen (Plumlee & Ware, 2006). Denn aufgrund des begrenzten menschlichen Arbeitsgedächtnisses können im Gegensatz zur temporalen Trennung durch Zooming schnelle Augenbewegungen beim Vergleich eingesetzt werden.

Neben der klassischen Verteilung der Ansichten von Übersicht- und Detailinformationen, wie in Abbildung 51a-b illustriert, gibt es weitere spezielle Techniken zur Darstellung von Overview+Detail, die die räumliche Trennung minimieren. Im Gegensatz zu den klassischen Entwurfsmustern, die auf der Trennung zwischen der X- und Y-Achse basieren, gibt es weitere Konzepte, die eine Aufteilung in Richtung der Z-Achse vornehmen. In diesen Konzepten wird eine Art Linse, die als zusätzliche Ebene fungiert, auf die Übersicht gelegt. Grundsätzlich gehört diese Form der Visualisierung zu der Kategorie, die die Integration der Detailinformationen in den Kontext vornimmt. In dieser Arbeit wird jedoch die Form der Visualisierung, die in Richtung der Z-Koordinate ausgedehnt wird, zur Kategorie der Overview+Detail-Technik gezählt, da eine räumliche Trennung erfolgt. Mit Hilfe eines digitalen Rahmens, der im Informationsraum verortet ist, werden die Lin-

senkonzepte realisiert. Alle Konzepte haben gemein, dass die Linsen (Fokusbereich) mit Hilfe von Basisnavigationstechniken wie Scrolling, Pointing oder Panning positioniert werden. Dabei findet eine Transformation der Inhalte im Fokusbereich statt. Ware und Lewis (1995) haben das sog. *DragMag*-Konzept entwickelt, das eine simple Trennung von Fokusbereich und Vergrößerung vornimmt (siehe Abbildung 52a).

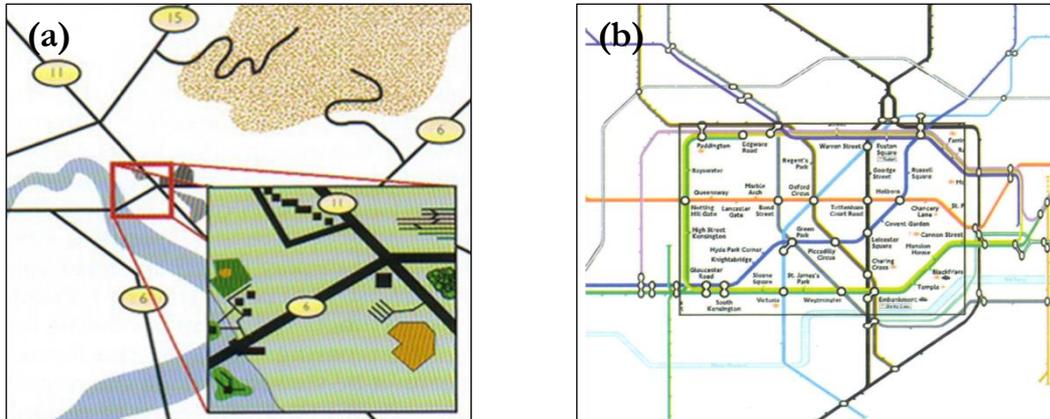


Abbildung 52 Graphische Linsen DragMag und Magic Lens

(a) Beim DragMag-Konzept wird die Fokusregion (roter Rahmen) separat vergrößert. **(b)** Die Darstellung des Londoner U-Bahnnetzes wird mittels Magic Lens mit zusätzlichen Informationen angereichert (Spence, 2007).

Um die Bereiche im Informationsraum vergrößern zu können, muss das Quadrat verschoben werden. Die Entkopplung stellt sicher, dass die unmittelbare Umgebung des Fokusbereichs erkennbar bleibt und es nicht zur Überlagerung von Informationen kommt. Allerdings lässt sich ein wesentliches Defizit identifizieren, da das Konzept keine Übergänge an den Schnittstellen zwischen Linse und Kontext vorsieht. Ebenso wie das *DragMag*-Verfahren, das eine Separierung auf der Z-Achse beinhaltet, zählen auch sog. *Magic Lens*-Darstellungen zu den Overview+Detail-Konzepten (Bier, Stone, Pier, Buxton & DeRose, 1993). Die *Magic Lens* ermöglicht dem Nutzer eine transformierte Ansicht auf die Informationen, die von der Linse überdeckt werden (siehe Abbildung 52b). Dabei kann sowohl die Größe der Linse als auch der Detailgrad von Information innerhalb der Linse mit einem semantischen Zoom verändert werden.

Focus+Context – Im Gegensatz zu den bereits dargestellten Visualisierungstechniken werden im Focus+Context-Konzept die Informationen weder zeitlich (Zooming) noch räumlich (Overview+Detail) getrennt. Bei den Focus+Context-Konzepten werden die Kontext- und Detailinformationen gemeinsam im Informationsraum angezeigt. Dabei werden Visualisierungstechniken verwendet, die das Ziel haben, die Ansichten möglichst nahtlos ineinander zu integrieren. Das hat den Vorteil, dass der Nutzer gezielt detaillierte Bereiche betrachten und dabei ohne räumliche Neuorientierung deren Kontext erfassen kann (Baudisch et al., 2001).

In den Focus+Context-Konzepten werden vorwiegend die Inhalte im Fokusbereich verzerrt. Dabei wird innerhalb der Linse eine Art Lupen-Metapher verwendet. Diese wird vom Nutzer auf interessante Bereiche im Informationsraum bewegt. Die Inhalte werden in der Regel innerhalb des Fokusbereichs vergrößert bzw. detaillierter dargestellt. Somit kann beispielsweise der Operator Details im Prozessbild untersuchen, ohne dabei den Überblick über den Gesamtprozess zu verlieren. Die Linsen können zum einen ohne Verzerrung umgesetzt werden, was es schwierig macht, die Inhalte in unmittelbarer Nähe in den Kontext zu bringen. Werden Verzerrungen an den angrenzenden Bereichen eingesetzt, benötigen diese im meist begrenzten Informationsraum entsprechend Platz. Die Folge davon ist eine Verdeckung von Inhalten. Dennoch sind diese Randbereiche, die nicht im eigentlichen Fokus des Nutzers stehen, wichtig, um zusätzlich Orientierung im Informationsraum

zu erhalten. Eine sog. Fisheye-Verzerrung ermöglicht die Orientierung im Raum, da die Detailinformationen innerhalb ihres Kontexts visualisiert werden. Dabei werden die Inhaltsstrukturen im Fokusbereich verzerrt dargestellt (Furnas & Bederson, 1995). In der Literatur finden sich unterschiedliche Konzepte, um einen vergrößerten Fokusbereich direkt im Kontext zu realisieren. Im Folgenden werden unterschiedliche Ansätze vorgestellt, um die grundsätzlichen Entwurfsmuster von Focus+Context-Visualisierungen zu beschreiben.

Gerade für Mehrbenutzerumgebungen sind Fisheye-Linsen zur Visualisierung von Detailinformationen im Kontext gut geeignet, da diese mehrere Fokusse unterstützen. Jedem Informationsobjekt im Raum wird ein sog. *Degree of Interest (DOI)* zugewiesen (Furnas, 1986). In der Berechnung fließen die Parameter der sog. *a Priori Importance* (Wichtigkeit) und die Distanz des Objekts in den Fokusbereich ein. Auf Basis des *DOI*-Werts entscheidet ein Algorithmus, der die Grenzwerte festlegt, ob die Objekte abstrahiert (am äußeren Rand) oder detailliert (im Fokus) angezeigt werden. In der Literatur finden sich diverse Konzepte, wie Fisheye-Linsen umgesetzt werden können. Sarkar und Brown (1992) haben die Fisheye-Views bereits in den 90er Jahren auf der Basis von mathematischen Grundlagen weiterentwickelt. Grundlegend lassen sich die Konzepte in kartesische (siehe Abbildung 53a) und polare Transformation (siehe Abbildung 53b) gliedern.

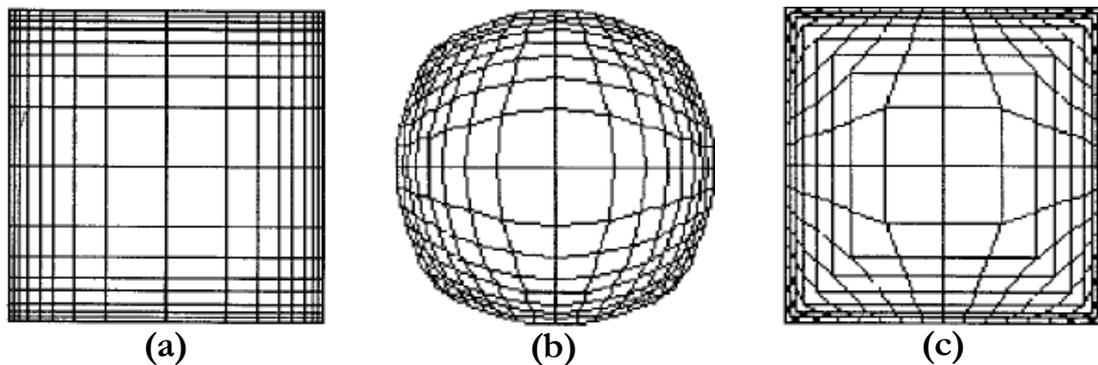


Abbildung 53 Verzerrungsalgorithmen und Beispiel einer Fisheye-Linse

(a) Kartesische Koordinatentransformation; (b) Polare Koordinatentransformation;
(c) Polare Transformation auf einen rechteckigen Raum (Sarkar & Brown, 1992)

Sarkar und Brown (1992) haben die polare Transformation durch gekrümmte Linientransformationen erweitert, die normalerweise gerade angeordnet ist, indem sie die Position der Knotenpunkte transformieren und diese mit geraden Linien verbinden. Der Einsatz einer solchen polaren Transformation, bei der auch die Knotenpunkte und der Informationsraum eine Semantik haben (wie bei der Topologie des Stromnetzes), ist nicht zielführend, da die Struktur der Topologie beeinträchtigt wird. Die polare Verzerrung bewirkt eine abgerundete Ansicht. Abbildung 53c stellt ebenfalls einen Ansatz von Sarkar und Brown (1992) dar, in dem ein polares Fisheye-Konzept auf einen rechteckigen Raum transformiert wird. Das bringt den Vorteil, dass im Fokusbereich eine gleichförmige Skalierung sowohl der X- als auch der Y-Achse entsteht. Gleichzeitig bleiben sowohl die Winkel als auch das Größenverhältnis zwischen den Linien erhalten.

Nach einer Untersuchung von Gutwin und Skopik (2003) schneiden Fisheye-Darstellungen in deiktischen Aufgabestellungen genauso gut ab wie herkömmliche Benutzungsschnittstellen. Weitere Studien zeigen jedoch, dass diese Art der Darstellung beim Anvisieren oder Einprägen von Objekten beim Nutzer zu Problemen führt (Hornbæk & Frøkjær, 2001). Für weiterführende Studien sei an dieser Stelle auf die Arbeit von Cockburn et al. (2008) verwiesen.

Elmqvist, Henry, Henry-Riche und Fekete (2008) haben mit der *Mélange*-Technologie einen verwandten Ansatz zu den zuvor beschriebenen Fisheye-Konzepten sowohl für zwei- als auch für

dreidimensionale Räume entwickelt. Die Grundidee liegt in der Metapher eines zusammengefalteten Papierbogens (siehe Abbildung 54a). Da diese Technik die Möglichkeit bietet, mehrere Fokusse im Informationsraum zu definieren, eignet sie sich für den Einsatz in der Leitwarte.

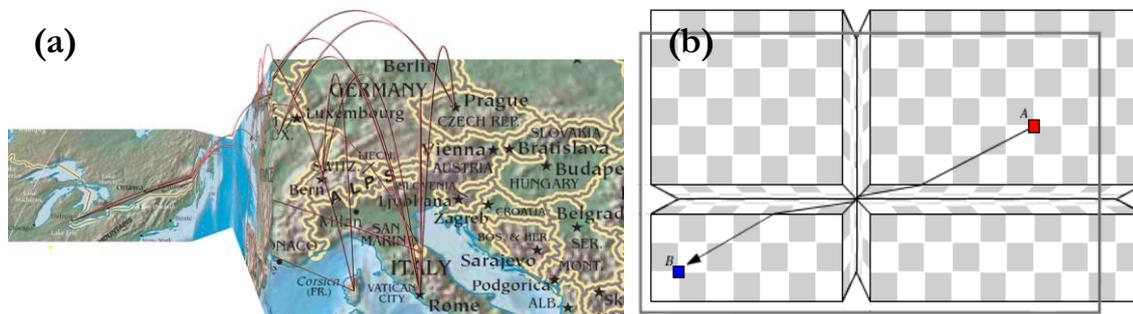


Abbildung 54 Mélange Space Folding-Technik

(a) Das Beispiel zeigt eine Darstellung von Flugrouten mit der Mélange Space Folding-Technik. Der nicht relevante Informationsraum wird gefaltet und in die Tiefe projiziert (Z-Achse). (b) Der Informationsraum wird so angeordnet, dass die Fokusse A (rot) und B (blau) innerhalb des Viewport angezeigt werden können (Elmqvist et al., 2008).

Die Informationen, die sich außerhalb der Fokusse befinden, werden nach hinten in den Bildschirm (Z-Achse) projiziert und mittels einer dreidimensionalen Perspektive dargestellt. Die grafische Gestaltung birgt den Vorteil, dass der Kontext zu den jeweiligen Fokuspunkten erhalten bleibt. Gleichzeitig wird durch die Faltungsmetapher ein Eindruck für die Abstände zwischen den Fokussen vermittelt. Abbildung 54b verdeutlicht in einer schematischen Darstellung den Vorgang einer Faltung. Der Viewport wird über den Fokuspunkten A und B zentriert. Dabei wird der Informationsraum entsprechend gefaltet, so dass beide Punkte innerhalb des Viewport liegen. Die Ergebnisse der Evaluation von Elmqvist, Riche, Henry-Riche und Fekete (2010), die die klassische *Split Screen*-Visualisierung mit der *Mélange Space Folding*-Technik vergleichen, zeigen Vorteile für die *Mélange*-Technik auf. So ist es den Nutzern mit Hilfe der Faltung des Informationsraums möglich gewesen, sowohl die Kontextinformationen als auch die Distanz zwischen den Fokussen besser abzuschätzen. Elmqvist et al. (2010) verweisen darauf, dass ihr Ansatz im Vergleich zu anderen Techniken, z. B. Overview+Detail-Konzepten, verhältnismäßig wenig Bildschirmplatz für den Kontext erfordert. Zusätzlich wird durch die Verzerrung der Inhalte die kognitive Anstrengung minimiert. Bei den Autoren hat der Fokus auf der Untersuchung der Visualisierung gelegen. Im Hinblick auf den Leitwartenkontext muss jedoch zusätzlich die Interaktion betrachtet werden, um beispielsweise schnellstmöglich einen Fokus im Datenraum zu definieren. Dennoch birgt die Technik große Potenziale, die Exploration im Datenraum zu vereinfachen, da eine direkte Navigation zu einem Datenpunkt im Raum beispielsweise mit der Point of View-Navigation effizient ermöglicht wird.

Verwandte Arbeiten von Multiscale-Anwendungen in der Leitwarte

Im Folgenden werden exemplarisch Benutzungsschnittstellen aus dem Leitwartenkontext vorgestellt, die Multiscale-Anwendungen zur Visualisierung und Interaktion im Informationsraum heranziehen. Abbildung 55a zeigt eine klassische Overview+Detail-Darstellung im Kontext einer Netzleitstelle. In den Leitwarten wird meist genau diese Form der Prozessvisualisierung eingesetzt. Dabei wird der technische Prozess sowohl als globale Gesamtübersicht (*Public Space*) als auch als ein besonders wichtiger Detailausschnitt (*Private Space*) visualisiert. Bereits 1995 hat Zinser das Konzept einer Fisheye-Verzerrung vorgestellt, das auf der Focus+Context-Technik basiert (siehe Abbildung 55b).

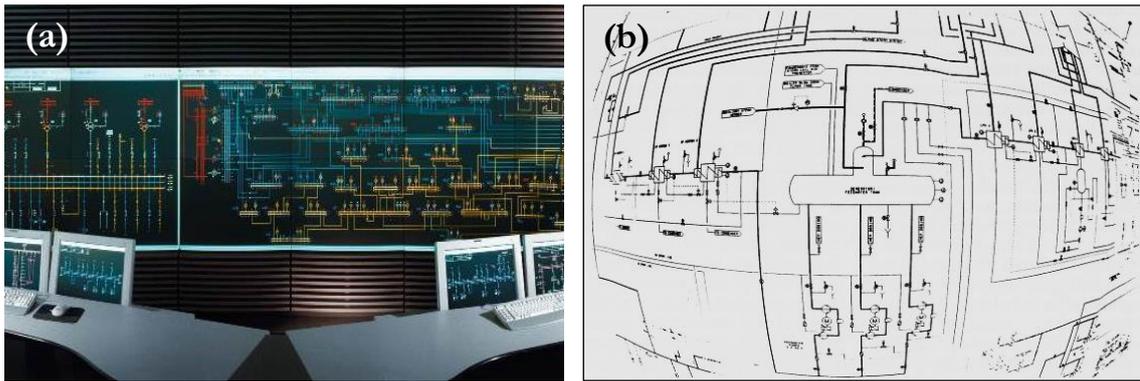


Abbildung 55 Overview+Detail- und Focus+Context-Visualisierung in der Leitwarte

- (a) Auf dem Wanddisplay wird der gesamte Netzausschnitt visualisiert. Auf den Bildschirmen direkt am Arbeitsplatz werden die Detailinformationen dargestellt.²⁶
 (b) Die Abbildung zeigt die schematische Darstellung einer Fisheye-View in der Prozessvisualisierung (Zinser, 1995).

In der Visualisierung werden die Randbereiche verkleinert und der Ausschnitt im Zentrum vergrößert dargestellt. Dadurch bekommt der Operator einen Gesamtüberblick über den Prozess, da alle Informationen angezeigt werden. Gleichzeitig können aber Detailinformationen im Zentrum vergrößert visualisiert werden.

Kurle, Arnold, Sellmaier und Einwanger (1994) haben einen Trainingssimulator für Operatoren im Kontext einer Destillationskolonne umgesetzt, in dem die Detaillierung des Informationsgrads durch temporale Trennung realisiert ist. Das Konzept verwendet die *Details-on-Demand*-Technik. Dabei können vordefinierte Prozessausschnitte vergrößert werden, um zusätzliche Detailinformationen zu visualisieren (siehe Abbildung 56a, grüner Pfeil). Abbildung 56b zeigt einen vergrößerten Ausschnitt (grüne Markierung) aus dem Übersichtsbild.

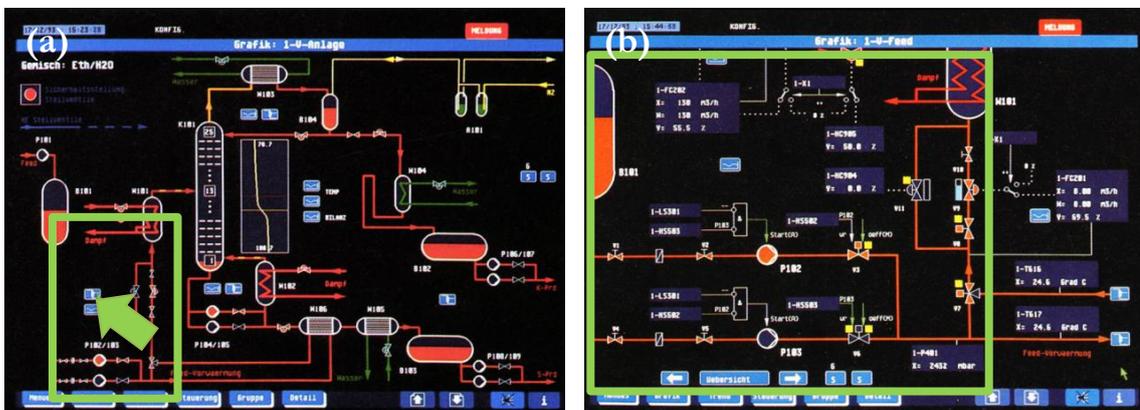


Abbildung 56 Zooming zur Vergrößerung eines Teilprozesses in der Leitwarte

- (a) Übersichtsbild eines technischen Prozesses einer Destillationskolonne;
 (b) Aus dem Übersichtsbild herausgelöste Detailansicht zur Überwachung eines Teilbereichs; zitiert nach Wittenberg (2001), Original in Kurle et al. (1994)

Zusammenfassung und Implikation

In Bezug auf die Anforderungen an die Navigation für die Überwachungs- und Diagnoseebene zeigt die Analyse der Technologie vielversprechende Ansätze, die zum Teil auch kombiniert werden können, um die Interaktion in Leitwarten zu optimieren. Die Repräsentanten der Basis-Techniken wie *Scroll-Balken*, *Vector-Scrolling*, *Point-of-View*-Navigation sowie *Panning*, die zu den *inhaltsinsensitiven*

²⁶ Pressebild: Stadtwerke München Netzleitstelle-1-Foto-SWM, zuletzt aufgerufen am 28.05.2014.

Konzepten zählen, können prinzipiell für die Steuerung von entfernten Wanddisplays verwendet werden. Jedoch ist beim Panning mit der Maus der Weg begrenzt, der durch eine Pan-Operation zurückgelegt werden kann. Auch beim Scrollen wird die Navigation in unnatürliche Teilschritte zerlegt (horizontal und vertikal). Zudem ist der Navigationsprozess in einem großen Informationsraum durch Pannen zeitintensiver (Moscovich et al., 2009). Ferner wird auch die Topologie der netzwerkartigen Struktur nicht berücksichtigt. So ist bei der Überwachung von netzwerkartigen Informationsräumen eine effizientere Navigation möglich, wenn die Topologie einbezogen wird.

Hierfür sind Konzepte vorgestellt worden, die die schnelle Navigation hin zu Knotenpunkten wie *Bring & Go* ermöglichen sowie die Navigation entlang von Kanten wie *Content-Aware Scrolling* oder *Link Sliding*. Die beiden Konzepte *Bring & Go* und *Link Sliding* nutzen die Vorzüge der *inhaltssensitiven Navigation*.

Bei der *Bring & Go*-Technik werden alle von einem Knoten ausgehenden Pfade in den sichtbaren Anzeigebereich verlagert. Im folgenden Schritt können diese Navigationsmöglichkeiten selektiert werden. So sind beispielsweise in Verkehrsleitwarten nicht nur die Straßenkreuzungen (Knoten) relevant, sondern auch kontextspezifische Detailinformationen, die an den Straßen (Kanten) anliegen. Um diese Detailinformationen abzurufen, ist es essenziell, auch zu jedem beliebigen Punkt zwischen den Knoten schnellstmöglich navigieren zu können. Bei der von Moscovich et al. (2009) entwickelten *Link Sliding*-Methode werden das Pannen und Zoomen um eine geführte Navigation an den Kanten ergänzt. Das Panning muss daher nur ungefähr in die Richtung des Kantenverlaufs ausgeführt werden. An den Knotenpunkten wird der nächste zu verfolgende Pfad ausgewählt.

Für die Primärtätigkeiten der Überwachung und der Diagnose müssen Prozessvisualisierungen eingesetzt werden, die viele Informationen auf einer begrenzten Anzeigefläche übersichtlich darstellen können. So zeigen die vorgestellten Technologien teilweise entsprechende Möglichkeiten auf, um die Anforderungen des Übersicht-Detail-Paradoxons zu lösen. Dabei ist maßgeblich, dass der Zugang zu Übersichts- und Detailinformationen möglichst simpel gestaltet ist. Entscheidend hierfür sind zum einen der Bezug von Detailinformationen und zum anderen die Möglichkeit, sich nur bei Bedarf (*Details-on-Demand*) Informationen anzeigen zu lassen, um einer Informationsüberflutung entgegenzuwirken. Die drei Versionen von Multiscale-Anwendungen, *Zooming*, *Overview+Detail* und *Focus+Context*, zeigen mögliche Lösungsvarianten auf, um den Operator zu entlasten. Tabelle 10 zeigt eine zusammenfassende Bewertung der unterschiedlichen Konzepte.

Tabelle 10 Bewertung der Multiscale-Anwendungen

	Temporale Trennung: Zooming	Räumliche Trennung: Overview+Detail	Nahtloser Übergang: Focus+Context
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Details-on-Demand über semantisches Zooming • Nutzung des gesamten Anzeigebereichs für Detailinformationen 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Verzerrung der Ansicht • Gleichzeitige Darstellung von Detail- und Kontextinformationen 	<ul style="list-style-type: none"> • Integration von Detailinformationen in Kontext
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Over- und Detailview nicht gleichzeitig sichtbar • Komplizierte mentale Verbindung von Prä- und Post-Zoomstatus 	<ul style="list-style-type: none"> • Geteilte Aufmerksamkeit • Dilemma der Ansichten beim Platzbedarf 	<ul style="list-style-type: none"> • Durch Verzerrung Probleme beim Erfassen räumlicher Eigenschaften (Richtungen, Distanzen) • Begrenzter Anzeigebereich für Detailinformationen

Bei Overview+Detail-Lösungen wird ein distinkter Anzeigebereich für Detailinformationen verwendet, hingegen werden diese bei Zooming- oder Focus+Context-Konzepten direkt in den kontextspezifischen Informationsraum eingebettet. Bei Overview+Detail-Visualisierungen wird eine

räumliche Trennung der Kontextinformationen durchgeführt. Dabei soll die visuelle Beeinträchtigung, die durch Überdeckungseffekte hervorgerufen wird, verhindert werden. Die räumliche Trennung kann jedoch eine geteilte Aufmerksamkeit herbeiführen (Posner & Petersen, 1990). Zusätzlich wird der Kontextbezug bei dieser Darstellungsart abgeschwächt. Zur effektiven Überwachung des Prozesses sollte die globale Übersicht der Prozessvisualisierungen zu jedem Zeitpunkt gegeben sein. Aufgrund der begrenzten Anzeigefläche des Displays kann das ausschließlich über eine geringe Skalierung des Informationsraums oder mit Hilfe von Verzerrungstechniken wie *Fisheye*- oder *Mélange*-Techniken erreicht werden. Als Vertreter der Focus+Context-Kategorie liegt ihre Stärke im guten Überblick über den Überwachungsraum, ohne den Kontext zu verlieren.

Durch das Zooming werden zwar Detailinformationen und Kontext integriert, allerdings in Form einer zeitlichen Trennung. Somit ist es ein Nachteil von Zooming-Techniken im Gegensatz zu Overview+Detail bzw. Focus+Context, dass Kontext- und Detailinformationen nicht zeitgleich dargestellt werden. Die mentale Beanspruchung beim Zooming kann durch den Einsatz von geführten Animationen verringert werden. Um die gewünschten Detailinformationen einblenden zu können, ist bei Overview+Detail- und auch bei Focus+Context-Konzepten eine erneute Interaktion nötig. Eine maßgebliche Unterstützung bieten Focus+Context-Konzepte bei der Integration von Informationen, da ein nahtloser Übergang der Detailinformationen in den Kontext ermöglicht wird, d. h., dass weder eine räumliche (Overview+Detail-Techniken) noch eine zeitliche Trennung (Zooming-Techniken) vorliegt (Baudisch et al., 2001). Gerade Overview+Detail-Techniken stellen nach Baudisch et al. (2002) einen erhöhten mentalen Anspruch, da die Detailinformationen in den Kontext überführt werden müssen.

Die vorgestellten verwandten Arbeiten im Leitwartenkontext zu Multiscale-Anwendungen müssen auf Basis der identifizierten Anforderungen für Mehrbenutzerumgebungen modifiziert werden. Für eine Mehrbenutzerumgebung haben die Focus+Context-Konzepte sehr großes Potenzial, da beispielsweise mehrere Fokuse in Form von Fisheye-Linsen gleichzeitig auf dem Übersichtsbild platziert werden können. Gleiches gilt auch für Fokuse, die mit einer individuellen Zoomstufe wie im Konzept der *Magic Lens* von Bier et al. (1993) versehen sind. Die vorgestellte *Mélange Space Folding*-Technik von Elmqvist et al. (2008) kann ebenfalls mit mehr als nur einem Fokus eingesetzt werden. Hierbei liegt die große Herausforderung in einer angemessenen Interaktionstechnik, die von mehreren Operatoren bedient werden kann.

5.1.3 Vorstudie zur Identifikation von Designanforderungen

In einer Vorstudie soll zunächst der grundlegende Einsatz von Interaktions- und Visualisierungskonzepten für entfernte Wanddisplays (*Public Space*) untersucht werden. Es soll vor allem der Frage nachgegangen werden, ob die Interaktions- und Visualisierungskonzepte die Arbeit auf entfernten Wanddisplays unterstützen und somit für den Einsatz in einer Mehrbenutzerumgebung förderlich sind. Das Interaktionskonzept der Überwachungs- und Diagnoseebene muss sowohl die Auswahl als auch das Verschieben eines Fokus innerhalb der Prozessvisualisierung effizient unterstützen. Wie bereits zuvor beschrieben, werden die Überwachungs- und Diagnostikaktivitäten vornehmlich auf dem entfernten Wanddisplay ausgeführt. Das bedeutet, dass es vom Operator nicht direkt erreichbar ist. Somit ist eine direkte Manipulation mittels Touch-Display beispielsweise für den täglichen Überwachungsbetrieb nicht effizient einsetzbar. Die virtuellen Prozessbilder in Leitwarten wie Straßen-, Schienen- oder Stromnetze sind netzwerkartig strukturiert. Die topologischen Informationen der Objekte sind für den Operator enorm wichtig. Diese können neben der Orientierung im Raum zusätzlich zur Navigation, d. h. zum Setzen oder Verschieben eines Fokuspunktes, herangezogen werden. Aufgrund der großen Entfernung zum Display ist es erforderlich, dass zum einen Fokuspunkte exakt positioniert werden können und zum anderen auch inexakte Eingaben des Operators ausgeglichen werden. Somit ist der Einsatz einer Maus als Eingabegerät als Basis für die Er-

füllung der Anforderungen nicht zielführend. Die Nutzungskontextanalyse in Abschnitt 3.2.3 hat gezeigt, dass bei Überwachungs- und vor allem bei Diagnosesetigkeiten eine direkte und schnelle Navigation zu einem markanten Punkt möglich sein muss, um so die entsprechenden Prozessdaten zu analysieren. Darüber hinaus ist es auch maßgeblich für die Arbeit der Operatoren, dass diese Detailinformationen sequenziell entlang auffälliger Bereiche, z. B. des Straßenverlaufs, der Verkehrsdichte oder der aktuellen Lastverteilung an den Spannungsleitungen in der Netzleitstelle, abgerufen werden können.

Unter Berücksichtigung der Überwachungs- und Diagnosesetigkeit von Operatoren wird nachfolgend ein Interaktions- und Visualisierungskonzept im Kontext der Verkehrsleitzentrale vorgestellt, das die Kombination von Detailinformationen mit *inhaltssensitiver Navigation* bereitstellt. Auf der Basis der Analyse vor Ort ergeben sich folgende Fragestellungen:

(F1) *Wie kann die Navigation in der Kartendarstellung verbessert werden?*

(F2) *Wie kann die Navigation entlang von Straßen optimiert werden?*

(F3) *Wie können Detailinformationen durch geeignete Visualisierungen dargestellt werden?*

Um diese Fragen zu beantworten, sind die Konzepte in einer experimentellen Benutzerstudie überprüft worden.

Interaktions- und Visualisierungskonzept

Interaktionskonzept – Nachfolgend wird ein Interaktionskonzept beschrieben, das sowohl ein auf die Primärtätigkeiten abgestimmtes joystickähnliches Eingabegerät als auch Navigationstechniken mit einem oder mehreren Fokuspunkten unterstützt. Dabei werden die Bedarfe aus dem Leitwartenkontext, d. h. die Einbeziehung von Kanten (z. B. Straßen) und Knoten (z. B. Kreuzungen) in die Interaktion, berücksichtigt. Im Konzept gibt es eine Unterscheidung zwischen der *freien* und der *inhaltssensitiven Navigation*. Für die Interaktion wird ein Eingabegerät (*SpaceNavigator*²⁷) mit sechs Freiheitsgraden (*Degrees of Freedom; DOF*) eingesetzt, das im CAD-Bereich für die Manipulation von Objekten im dreidimensionalen Raum verwendet wird (siehe Abbildung 57a-c). Der *SpaceNavigator* ist ein selbstzentrierendes Eingabegerät (*Self-centering Device*) und somit von den Eigenschaften her ein Joystick. Wie Abbildung 57a-c verdeutlicht, unterstützt das Eingabegerät die Parameter der Translation und Rotation.



Abbildung 57 SpaceNavigator als Eingabegerät zur Steuerung des Wanddisplays

Die Abbildungen zeigen die Eingabemodalitäten: (a) Kippen; (b) Drücken oder Ziehen; (c) Drehen (Schwarz, Butscher, et al., 2011).

Die Kartenausschnitte können in der *freien Navigation* durch entsprechendes Kippen des *SpaceNavigators* verschoben werden. Dabei bewegt sich der Ausschnitt (Fokus) entsprechend der Kipprichtung. Untersuchungen von Zhai, Milgram und Drascic (1993), die auf dem Vector-Scrolling basieren, zeigen im Zusammenhang mit Navigationstechnik erhebliche Einflüsse im Hinblick auf die Effektivität der Interaktion. So eignen sich Eingabegeräte mit sechs *DOF* wie der *SpaceNavigator* durch eine automatische Selbstzentrierung besonders für die vektorbasierte Navigation (Zhai et al., 1993).

²⁷ <http://www.3dconnexion.de/products/spacnavigator.html>, zuletzt aufgerufen am 23.05.2014.

Diese Eingabeform ermöglicht gegenüber dem mausbasierten Pannen eine kontinuierliche Navigationsbewegung. Somit wird die Interaktion nicht in einzelne Navigationsschritte unterteilt. Je nach Kippausschlag wird die Navigationsgeschwindigkeit dynamisch angepasst. Für die Überbrückung von großen Distanzen im Informationsraum wird bei maximal gekipptem *SpaceNavigator* die höchste Geschwindigkeit erreicht. Hingegen ist bei einem geringen Kippausschlag ein exaktes Annavigieren eines spezifischen Punkts möglich, da sich die Geschwindigkeit der Navigation reduziert. Das Groß- und Kleinzoomen der Straßenkarte ist durch Drücken bzw. Ziehen möglich.

Das *polymodale Navigationselement* im mittleren Bereich (siehe Abbildung 58a) unterstützt den Operator bei der Navigation. Das Navigationselement fungiert in der *freien Navigation* als Fadenkreuz, um einen Punkt gezielt ansteuern zu können. Außerdem wird ein Richtungspfeil im Navigationselement angezeigt. Dieser gibt die gegenwärtige Kipprichtung wieder. Abbildung 58b zeigt das *polymodale Navigationselement* kurz vor dem Verbinden einer Straße, um in die *inhaltssensitive Navigation* an Kanten entlang zu wechseln. So deutet beispielsweise das Navigationselement an, dass eine Verbindung zu einer Kante (Straße) möglich ist oder welche Straße vom Knoten (Kreuzung) aus selektiert worden ist.



Abbildung 58 Polymodales Navigationselement in der freien Navigation

(a) Die Abbildung stellt ein polymodales Navigationselement mit Anzeige des Richtungspfeils dar. (b) Das Navigationselement zeigt an, dass ein Übergang in die inhaltssensitive Navigation möglich ist (Schwarz, Butscher, et al., 2011).

Eine Verbindung zu einer Straße kann mit einer Drehbewegung am *SpaceNavigator* hergestellt werden. Mit einer erneuten Drehbewegung kann eine Verbindung gelöst werden. Damit in der *freien Navigation* einzelne Straßen gezielt angesteuert werden können, wird das Navigationselement magnetisch von diesen angezogen. Das wird über dynamische Kraftfelder (*Dynamic Force Fields*) nach Ahlström, Hitz und Leitner (2006) realisiert. Bei unmittelbarer Nähe des Navigationselements zur Straße, wird die Navigationsgeschwindigkeit verringert und eine exaktere Navigation erreicht.

Der Operator kann bei einer Verbindung zu einer Straße mit dem *SpaceNavigator* entsprechend dem Verlauf folgen. Hierfür sind zwei Varianten mit dem Werkzeug *Conceptual Blending* entwickelt und verglichen worden. Das Folgen der Straße wird in der ersten Variante über eine Kippbewegung vollzogen. Es genügt, den *SpaceNavigator* grob zum gewünschten Straßenverlauf zu bewegen. Der *Input Space 1* beinhaltet die bekannten realweltlichen physikalischen Gesetze der Schwerkraft, die gelten, wenn beispielsweise eine Kugel auf einer Platte positioniert wird. Die Kugel folgt der Kippbewegung der Platte. *Input Space 2* orientiert sich an der digitalen Welt und repräsentiert den digitalen Fokus auf der Karte. Die Kombination aus diesen Konzepten, d. h., der resultierende *Blend*, ermöglicht eine Art der Navigation, die für den Operator durch den Bezug zu gegebenen Naturgesetzen einfach zu verstehen ist. Dabei muss er nicht über die korrekte Kipprichtung des Eingabegeräts nachdenken, um die antizipierte Navigation auszuführen. Die *inhaltssensitive Navigation* hat die Besonderheit, dass der topologische Informationsraum (Straßennetz) für die Navigation herangezogen wird. Im Sinne des *Conceptual Blending* handelt es sich um eine Verknüpfung aus einer-

seits dem Konzept des Folgens eines Straßenverlaufs (*Input Space 1*), und andererseits dem *Blend* des Vector-Scrolling, der als *Input Space 2* herangezogen wird. Die *inhaltsensitive Navigation* besteht aus zwei hierarchisch aufeinander aufbauenden *Blends*. Mit Hilfe des daraus resultierenden *Blend* (*inhaltsensitive Navigation*) können sich Operatoren je nach Aufgabesituation an einer Straße andocken. Der Operator kann bei einer bestehenden Straßenverbindung mit dem Eingabegerät dem Straßenverlauf folgen, indem er dieses in die entsprechende Navigationsrichtung kippt. Durch die Verwendung eines sich selbst zentrierenden Eingabegeräts, das die Blindbedienung unterstützt, ist keine genaue Positionierung des Zeigegeräts notwendig.

Der Operator kann innerhalb der zweiten Variante durch eine Drehbewegung am *SpaceNavigator* in Abhängigkeit zur Drehrichtung dem Straßenverlauf folgen (siehe Abbildung 59a). Auch hier ist *Conceptual Blending* genutzt worden, um die Interaktion an den Alltagserfahrungen der Nutzer auszurichten. *Input Space 1* lehnt sich an die physikalischen Gesetze an, wenn ein Rad entlang einer Strecke bewegt wird. Die Drehrichtung gibt an, in welche Richtung sich das Rad fortbewegt. Wie zuvor im Konzept der Kippbewegung setzt sich *Input Space 2* durch das Konzept des digitalen Fokuspunktes der Karte zusammen. Der daraus resultierende *Blend* ist auch an die bekannten Naturgesetze angelehnt. Den Straßen, die sich zur vertikalen Achse nach rechts ausdehnen, kann durch eine Rechtsdrehung gefolgt werden. Dasselbe Konzept wird auch für Straßen, die sich nach links erstrecken, angewendet. Dabei besteht eine Abhängigkeit der Dreh- und Navigationsrichtung vom Straßenverlauf. Das *polymodale Navigationselement* wird um eine zusätzliche Visualisierung ergänzt. Diese unterstützt bei der Auswahl der Drehrichtung (siehe Abbildung 59a).



Abbildung 59 Polymodales Navigationselement in der inhaltsensitiven Navigation

(a) Polymodales Navigationselement mit geschlossenem Kreis als Rückmeldung für die Verknüpfung zur Straße und Pfeilvisualisierung als Richtungscode bei der Wahl zur Drehrichtung; (b) Auswahl der Straße an einer Kreuzung mit Einfärbung der Straße (Schwarz, Butscher, et al., 2011)

Beide Varianten ermöglichen während der *inhaltsensitiven Navigation* eine Änderung der Zoomstufe durch Drehen, Drücken und Ziehen. Bei der Navigation einer Straße entlang wird der Kartenausschnitt unter dem *polymodalen Navigationselement* verschoben. So folgt der Operator dem realen Straßenverlauf und überbrückt nicht wie beim Pannen geradlinige Distanzen. Darüber hinaus wird im Gegensatz zum Pannen die Navigation nicht in Teilschritte (stetiges Nachgreifen) zerlegt. Nach Igarashi und Hinckley (2000) wird eine adaptive Navigationsgeschwindigkeit eingesetzt, die sich je nach Zoomstufe dynamisch anpasst. Durch diese kann bei einer geringen als auch hohen Zoomstufe komfortabel navigiert werden.

Zusätzlich wird durch die Positionierung des *polymodalen Navigationselements* im Mittelpunkt des Displays sichergestellt, dass periphere Informationen (Straßenverlauf und Verkehrsaufkommen) nicht aus dem Anzeigebereich verschwinden. Die Navigation wird automatisch an Straßenkreuzungen angehalten. Durch eine Farbänderung signalisiert das *polymodale Navigationselement* (blaue Hervorhebung der Straße), dass der Kreuzungsmodus aktiv ist (siehe Abbildung 59b). Zur Selektion des Straßenverlaufs an Kreuzungen sind zwei unterschiedliche Varianten gestaltet worden. Es kann die

gewünschte Straße per Drehbewegung ausgewählt werden. Dadurch wird zwischen den einzelnen Straßen durchgeschaltet. Außerdem wird der antizipierte Verlauf der Straße mit Hilfe einer Kippbewegung in die entsprechende Richtung selektiert. Um dem Straßenverlauf zu folgen, muss die Bewegung nur grob ausgeführt werden. Hierbei wird die Straße ausgewählt, die der Kipprichtung am ehesten entspricht (vgl. *Link Sliding* nach Moscovich et al., 2009; siehe Abschnitt 5.1.2).

Die animierte Navigationsfunktion ermöglicht eine schnelle Überbrückung großer Distanzen zwischen Kreuzungen. Beim Folgen der ausgewählten Straße über eine Kippbewegung, kann durch zweimaliges kurzzeitiges Kippen in die entsprechende Richtung die automatische Funktion gestartet werden. Hingegen kann in der alternativen Variante durch doppeltes Drehen eine Kreuzung gezielt angewählt werden.

Visualisierungskonzept – Für den Operator müssen Prozessvisualisierungen zur Verfügung gestellt werden, die die Menge und die Dichte an Informationen beherrschbar machen, um sowohl den Überblick als auch bei Bedarf detailliertere Betrachtungen von Teilbereichen zu unterstützen. Maßgeblich bei der Betrachtung von Detailinformationen ist das Bewusstsein, an welcher Stelle sich der Operator aktuell im Prozess befindet, um Fehlinterpretationen der Daten zu verhindern. Die *inhalts-sensitive Navigation* ermöglicht den ständigen Zugriff auf Detailinformationen in Abhängigkeit von der aktuellen Straßenposition. Die Detailinformationen können gefiltert und im Bedarfsfall angezeigt werden. Der Kontext bleibt dem Operator ständig erhalten. Um eine Überdeckung des Informationsraums zu vermeiden, ist es notwendig, dem Operator die Möglichkeit zu bieten, Informationen auch gänzlich auszublenden und diese nur bei Bedarf darzustellen. Bei Überwachungstätigkeiten im Kontext der Verkehrsleitzentrale sind vor allem das Verkehrsaufkommen pro Fahrspur sowie die dazugehörigen Kamerabilder von Bedeutung. Um das zu realisieren, sind eine Overview+Detail- und eine Focus+Context-Darstellung umgesetzt worden. Zum einen ist für die Overview+Detail-Darstellung eine *Split Screen*-Visualisierung und zum anderen für die Focus+Context-Darstellung eine Fisheye-Linse entwickelt worden.

Im ersten Visualisierungskonzept wird eine räumliche Trennung von Detail- und Kontextinformationen umgesetzt (siehe Abbildung 60).

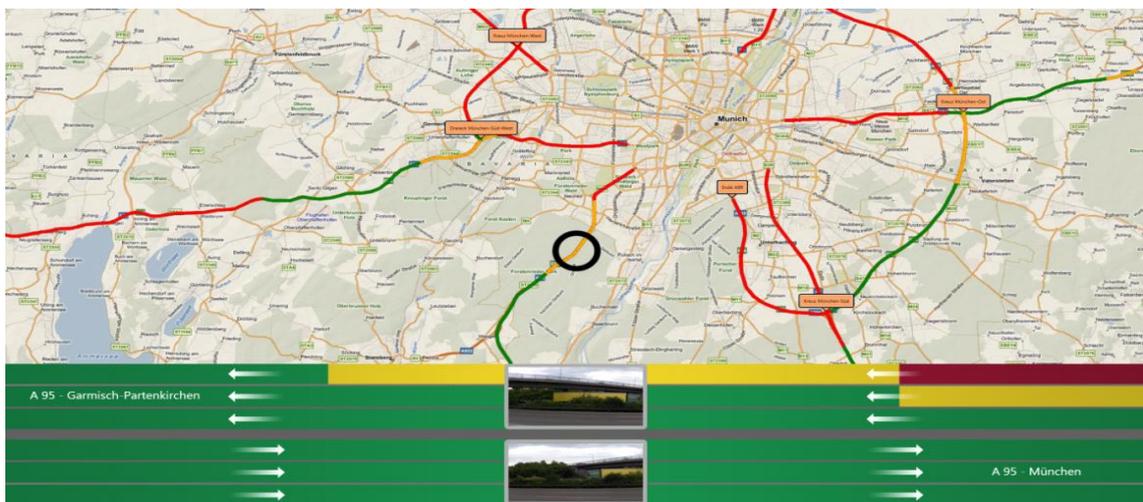


Abbildung 60 Visualisierung der Prozessvariablen mit Split Screen-Darstellung

Im oberen Bereich werden in der Übersichtskarte die Detailinformationen und im unteren Teil die Kontextinformationen dargestellt (Schwarz, Butscher, et al., 2011).

Die Detailinformationen werden im unteren Randbereich des Bildschirms dargestellt. Dabei werden pro Fahrtrichtung die Fahrspuren mit dem Verkehrsaufkommen und den Richtungspfeilen, die die jeweilige Fahrtrichtung angeben, angezeigt. Zusätzlich sind in der jeweiligen mittleren Position

der Fahrtrichtungen die Kamerabilder in den unteren Bereich integriert. Diese Integration der Kamerabilder ist anhand der Prinzipien des *Conceptual Blending* abgeleitet worden. Dabei kommt es zu einer Verbindung zwischen Konzepten der realen Welt und den digitalen Möglichkeiten. Dem Operator wird durch die Position der Kamerabilder eine Sicht vermittelt, als ob er aus dem Fenster eines fahrenden Fahrzeugs blickt (*Input Space 1*).

Als *Input Space 2* dienen die digitalen Eigenschaften wie die automatische Durchschaltung der jeweiligen einzelnen Kameras entlang der Straßenabschnitte. Der Ausschnitt der Detailinformationen wird parallel zum *polymodalen Navigationselement* verschoben. Darüber hinaus werden durch die Sensoren die aktuellen Verkehrsinformationen detektiert. Im unteren Bereich bedeutet die grüne Einfärbung freier Verkehr, gelb stockender Verkehr und rot Stau. Im oberen Bereich wird die Darstellung der Verkehrsaufkommen kumuliert dargestellt. Durch die Trennung der Detail- und Kontextinformationen wird eine visuelle Überdeckung verhindert. Der abgeleitete *Blend* erlaubt es dem Operator bei Überwachungs- und Diagnostikaktivitäten in den jeweiligen Streckenabschnitten, sich Kontextinformationen wie das aktuelle Verkehrsaufkommen detailliert anzeigen zu lassen, um die Situation zu analysieren.

Die Fokuspunkte werden beim Konzept der *Hybriden Magic Lens-View* um sog. *Hybride Magic Lenses (HML)* erweitert. Die *HML* kann vom Operator durch die *inhaltssensitive Navigation* platziert werden. Sie liefert damit eine sowohl transformierte, grafisch vergrößerte als auch semantisch angereicherte Ansicht der Prozessvisualisierung (siehe Abbildung 61a-d). Der Operator kann interessante Bereiche sowie Detailinformationen im zu überwachenden Prozess exakter betrachten, der räumliche Kontext bleibt erhalten. Die *HML* ist als eine Kombination aus einer Fisheye-Verzerrung sowie einem *Magic Lens*-Filter zu verstehen. Über eine Fisheye-Verzerrung wird ein grafisch vergrößerter Bereich dargestellt, der sich nahtlos anpasst. Hingegen schafft der *Magic Lens*-Filter im Fokusbereich der Fisheye-Verzerrung eine semantische Informationsanreicherung.

Auf Basis des *Conceptual Blending* wird die digitale Prozessvisualisierung in Form einer Übersichtsdarstellung mit realen physischen Konzepten angereichert. Das Konzept der *HML* mit ihrer verzerrten Darstellung ähnelt einem physischen Pyramidenstumpf (*Input Space 1*), der mit einem elastischen Material überzogen worden ist. Durch die Dehnbarkeit des Außenmaterials kann der Pyramidenstumpf vergrößert oder verkleinert werden, wobei alle Bereiche für den Nutzer weiterhin sichtbar bleiben. Die Prozessvisualisierung, die *Input Space 2* bildet, liefert die digitalen Funktionen wie im Beispiel das Ein- und Ausblenden von Detailinformationen mit dem Konzept des *Magic Lens*-Filters sowie die Navigation auf dem Wanddisplay.

Mit Hilfe des abgeleiteten *Blend*, also der *HML*, wird dem Operator beispielsweise ermöglicht, markante Verkehrsbereiche ohne Kontextverlust genauer zu beobachten. Das führt zu einer semantischen und grafisch geometrischen Vergrößerung von Streckenabschnitten. Generell bleiben die Straßenverläufe (Kontextinformationen) innerhalb des Sichtbereichs. Somit wird die Problematik der geteilten Aufmerksamkeit abgeschwächt. Der Fokusbereich der Fisheye-Lens wird nur vergrößert, aber nicht verzerrt dargestellt. Lediglich im Fokusbereich werden über einen zusätzlichen *Magic Lens*-Filter Detailinformationen (Verkehrssituation auf einzelnen Fahrspuren und Kamerabilder) visualisiert. Dabei erleichtert die Imitation des Pyramidenstumpfs als realweltliches Konzept die Übergänge zwischen der *HML* und dem gesamten Informationsraum.

Die *HML* ist immer im Mittelpunkt des Bildschirms platziert und erweitert somit das *polymodale Navigationselement*. Der Kartenausschnitt wird hierbei unter der *HML* hindurchgeführt. Der Detailgrad an Informationen kann über vier Zoomstufen angepasst werden (siehe Abbildung 61a-d).

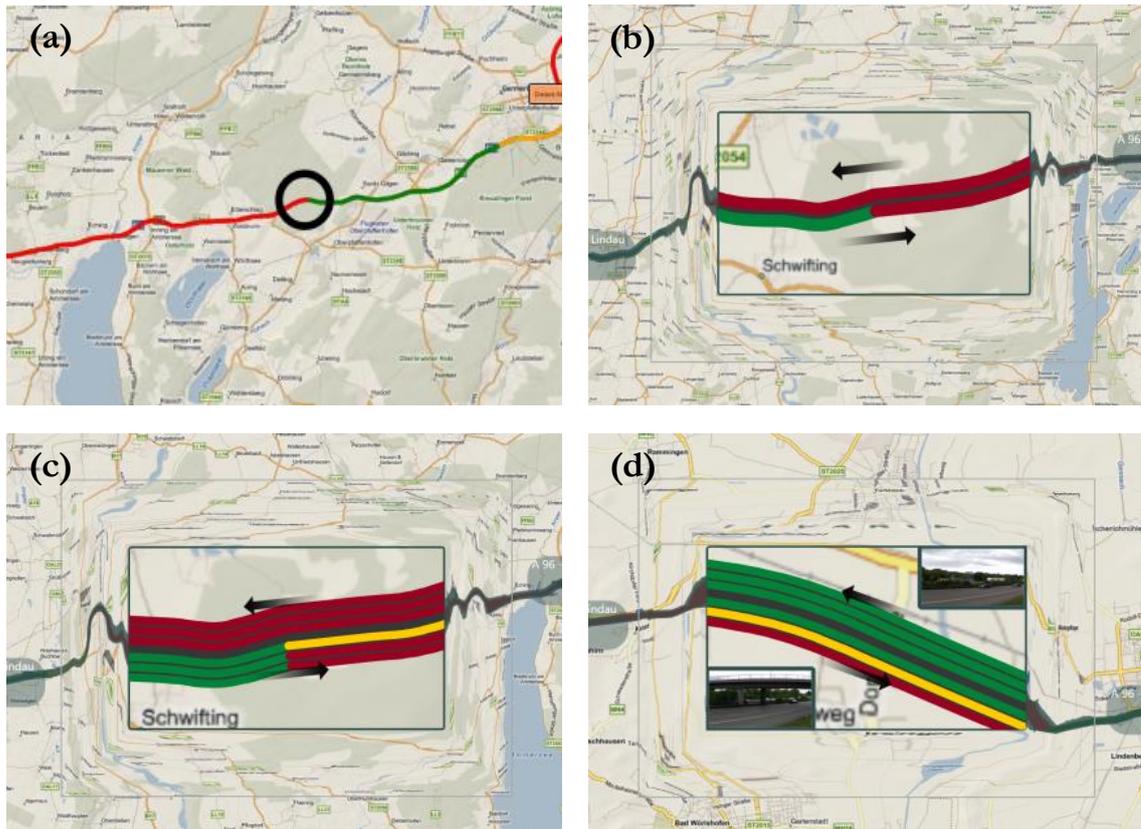


Abbildung 61 Hybride Magic Lens-View mit vier unterschiedlichen Zoomstufen

(a) Keine Linse; (b) Kumulierte Verkehrssituation pro Fahrtrichtung; (c) Verkehrssituation pro Fahrspur; (d) Verkehrssituation auf jeder Fahrspur mit zusätzlichen Kamerabildern (Butscher, Schwarz, Müller & Reiterer, 2011)

Die Einfärbung der Verkehrssituation ist an die Overview+Detail-Darstellung angelehnt. Die Anordnung der Kamerabilder erfolgt in Abhängigkeit vom Straßenverlauf. Diese basiert auf einer Approximation, die die Position mit der geringsten Überlagerung der Fahrbahnen errechnet. Demnach wird keine Linse dargestellt, wenn der Operator weit aus der Übersichtskarte herausgezoomt ist. Dagegen werden bei einer sehr hohen Zoomstufe alle Detailinformationen in der Linse angezeigt. In der höchsten Zoomstufe werden innerhalb der *HML* die Kamerabilder entsprechend dem Straßenverlauf so platziert, dass eine möglichst geringe Überlagerung der Informationen sichergestellt ist. Die Kamerabilder werden bei Änderung des Straßenverlaufs dynamisch optimal positioniert, um so den Operator möglichst nicht bei der Diagnose zu behindern.

Versuchsaufbau

Für die Evaluation wird ein 64“ großes vertikal ausgerichtetes Display mit einer Auflösung von 4.096×2.160 Pixeln eingesetzt. Zur Steuerung des entfernten Displays wird der *SpaceNavigator* verwendet.

Die Aktivitäten der Testpersonen im Kartenmaterial werden per Videokamera aufgenommen. Die Bedienung des *SpaceNavigators* wird zusätzlich per Webcam aufgezeichnet. Anwesend sind neben dem Versuchsleiter zwei zusätzliche Personen. Diese erheben mit standardisierten Beobachtungsprotokollen Daten.

Versuchsablauf

Die Benutzerstudie wird in drei Aufgabenblöcke gegliedert: die *freie Navigation*, die *inhaltssensitive Navigation* und die *operatorspezifischen Aufgaben* und dauert etwa 90 Minuten. Um ein einheitliches Wissen für alle Teilnehmer zu schaffen, erfolgt vor den drei Aufgabenblöcken eine Standardeinführung durch den Versuchsleiter. Im Anschluss folgt eine kurze Explorationsphase, um die Teilnehmer mit dem System bekannt zu machen.

Am Anfang eines jeden Versuchsdurchlaufs werden mit Hilfe von Fragebögen die Vorerfahrungen bezüglich der Interaktion erfasst. Im ersten Aufgabenblock, der *freien Navigation*, werden den Teilnehmern einfache Navigationsaufgaben gestellt. Hierzu wird beispielsweise folgender Hinweis gegeben: „*Sie sind auf der Karte irgendwo in Deutschland ausgesetzt worden. Ihre erste Aufgabe besteht nun darin, zum Hauptbahnhof München zu navigieren.*“ Anschließend wird die subjektive Einschätzung in Bezug auf die Interaktion mit Hilfe eines Fragebogens festgehalten.

Im zweiten Aufgabenblock, der *inhaltssensitiven Navigation*, wird ermittelt, wie die Probanden sich in den Konzepten beim Folgen des Straßenverlaufs sowie der Selektion von Straßenkreuzungen zurechtfinden. Die Bearbeitung der Aufgaben erfolgt nach einer Einführungs- und Explorationsphase. In diesem Zusammenhang wird beispielsweise folgende Anweisung gegeben: „*Folgen Sie der A99 bis zum Kreuz München-West. Wechseln Sie hier auf die A8 und folgen dieser bis zum Dreieck München-Eschenried. Navigieren Sie von hier aus über das Dreieck München-Allach zurück zum Dreieck München-Feldmoching.*“

Die Versuchspersonen werden in vier unterschiedliche Gruppen eingeteilt. Die Bedingungen werden innerhalb der einzelnen Gruppen (*Within-subjects Design*) sowie zwischen den vier Gruppen (*Between-subjects Design*) ausbalanciert. Es ergeben sich vier Kombinationsmöglichkeiten mit dem *SpaceNavigator*: (*V1*) Straßenverlauf folgen und Straßenwechsel über Kippbewegung. (*V2*) Straßenverlauf folgen und Straßenwechsel über Drehbewegung. (*V3*) Straßenverlauf folgen über Kippen und Straßenwechsel über Drehen. (*V4*) Straßenverlauf folgen über Drehen und Straßenwechsel über Kippen.

In jeder Gruppe werden die Aufgaben in zwei Durchgängen bearbeitet. Im Versuchsdurchlauf wird bei Probandengruppe 1 die Bedingung, unter der der Straße gefolgt worden ist, gewechselt (Vergleich von *V1* mit *V4* bzw. *V2* mit *V3*). Bei der zweiten Probandengruppe wird diese Eingabebedingung konstant gehalten. Demgegenüber wird der Straßenwechsel an einer Kreuzung verändert (Vergleich von *V1* mit *V3* bzw. *V2* mit *V4*).

Im Anschluss an die Bearbeitung der Aufgaben sind die subjektiven Einschätzungen zu den unterschiedlichen Navigationskonzepten anhand eines Fragebogens ermittelt worden. Zusätzlich sind diese mit Hilfe eines weiteren Fragebogens miteinander verglichen worden.

Innerhalb der Versuchsphase *operatorspezifische Aufgaben* müssen die Teilnehmer die Operatorrolle übernehmen. Die Probanden müssen beispielsweise bei der *inhaltssensitiven Navigation* (z. B. Folgen der Straße über ein Kippen) das Verkehrsaufkommen beobachten oder gegebenenfalls anhalten, wenn sich ein Stau auf allen drei Fahrspuren gebildet hat. Beide Darstellungskonzepte werden wiederum in einem *Within-subjects Design* verglichen. Wie zuvor sind die subjektiven Einschätzungen mittels eines Fragebogens erfasst und verglichen worden. Abschließend ist den Teilnehmern eine Diskussion ermöglicht worden.

Methoden zur Datenerhebung

Zur Datenerhebung werden neben den Fragebögen auch qualitative Methoden in Form von teilnehmenden Beobachtungen eingesetzt.

Fragebogen – Die subjektive Bewertung der Konzepte durch die Probanden wird mit Fragebögen aufgenommen. Die Bewertung des Gesamteindrucks wird anhand einer Fünf-Punkte-Likert-Skala erfasst und erfolgt nach jedem der drei Aufgabenblöcke. Zusätzlich werden die Konzepte in der *inhalts sensitiven Navigation* als auch den *operatorspezifischen Aufgaben* auf einer Drei-Punkte-Likert-Skala bewertet.

Teilnehmende Beobachtung – Wie bereits zuvor bei der Nutzungskontextanalyse beschrieben (siehe Abschnitt 3.2.2), kommt auch bei diesem Versuch die Methode der teilnehmenden Beobachtung zum Einsatz, um zusätzliche Aspekte seitens der Versuchsleiter zu protokollieren. Auch hier wird die Methode der offenen Beobachtung gewählt. Anhand von halbstandardisierten Beobachtungsfäden werden die Daten erhoben.

Stichprobe

An der Studie nehmen 24 Studenten teil. Die 14 weiblichen und zehn männlichen Probanden sind durchschnittlich 24.78 Jahre ($SD = 2.52$) alt. 76% der Teilnehmer kennen die Joystickinteraktion bereits, jedoch hat die Nutzungshäufigkeit bei $M = -0.40$ ($SD = 1.08$; -2 *sehr selten* bis 2 *sehr häufig*) gelegen.

Alle Probanden geben an, dass sie schon Erfahrung mit internetbasierten Routenplanern und Kartennavigation (z. B. Google Maps) haben. Des Weiteren benutzen 92% der Studenten die Zooming- und Panningfunktion im Kartenkontext.

Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Benutzerstudie vorgestellt. Hierbei wird eine Einteilung in die *freie Navigation* (F1), die *inhalts sensitive Navigation* (F2) und die *operatorspezifischen Aufgaben* (F3) vorgenommen. Zur Überprüfung von signifikanten Unterschieden ist der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test verwendet worden. Alle Signifikanzen gelten für ein Signifikanzniveau von $p < .05$.

Freie Navigation (F1) – Die subjektiven Antworten (siehe Abbildung 62a) zeigen, dass die *freie Navigation* mittels des *SpaceNavigators* den Vorstellungen der Versuchsteilnehmer entspricht ($Md = 2$; $M = 1.54$, $SD = 0.58$; Skala von -2 *überhaupt nicht* bis 2 *absolut*).

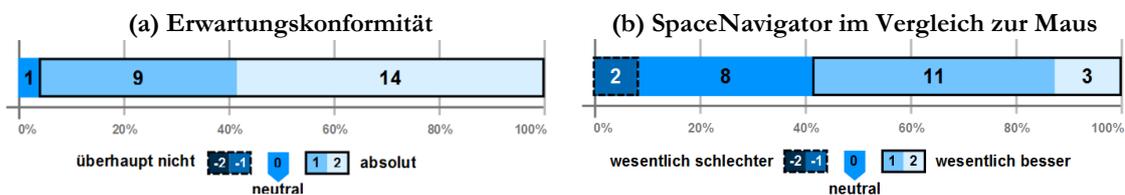


Abbildung 62 Bewertung der freien Navigation²⁸

Die Darstellung der aktuellen Kipprichtung wird dabei von 83% der Teilnehmer als hilfreiche Funktion beurteilt. Die Probanden bewerten mit $Md = 1$ ($M = 0.63$, $SD = 0.81$; Skala von -2 *wesentlich schlechter* bis 2 *wesentlich besser*) die *freie Navigation* mit dem *SpaceNavigator* im Vergleich zu ihren persönlichen Erfahrungen mit der Mausinteraktion (in der Studie nicht umgesetzt worden) besser, was in Abbildung 62b verdeutlicht wird.

²⁸ Die grafische Aufbereitung der Likert Skalen in Abschnitt 5.1.3 erfolgt mit Plot Likert Scales (<http://www.likertplot.com>, zuletzt aufgerufen am 20.05.2014).

Inhaltssensitive Navigation (F2) – Die Verständlichkeit der Navigationskonzepte (*V1* bis *V4*) wird mit $Md = 1$ ($M = 1.17$, $SD = 0.9$; Skala von -2 *sehr schlecht* bis 2 *sehr gut*) bewertet (siehe Abbildung 63a). Der Nutzen der Sprungfunktion, um schnell zur nächsten Kreuzung zu gelangen, wird mit einem Wert von $Md = 2$ ($M = 1.67$, $SD = 0.66$; Skala von -2 *sehr verwirrend* bis 2 *sehr hilfreich*) ermittelt (siehe Abbildung 63b).

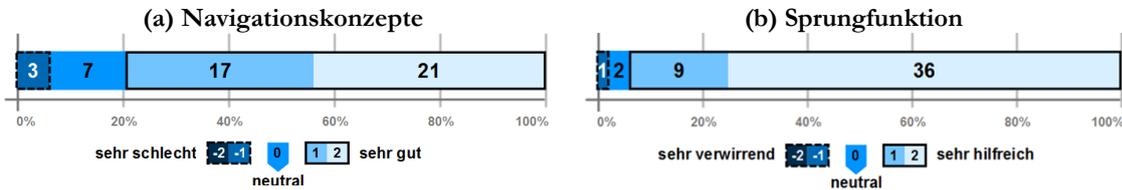


Abbildung 63 Bewertung der inhaltssensitiven Navigation

Folgen der Kante – In den Navigationskonzepten, bei denen das Folgen des Straßenverlaufs über Kippen möglich ist (*V1* & *V3*: $Md = 2$; $M = 1.38$, $SD = 0.81$; Skala von -2 *sehr schlecht* bis 2 *sehr gut*), werden im Vergleich zu dem Drehbewegungskonzept (*V2* & *V4*: $Md = 1$; $M = 0.96$, $SD = 0.93$) durchschnittlich besser beurteilt. Das zeigt sich auch in der individuellen Einschätzung der Teilnehmer bezüglich der für die Navigation notwendigen Aufmerksamkeit.

Beim Folgen der Straße über Kippen (*V1* & *V3*) werden die Aufmerksamkeitsressourcen mit $Md = 0$ ($M = 0.29$, $SD = 0.98$; Skala von -2 *sehr viel Aufmerksamkeit* bis 2 *sehr wenig Aufmerksamkeit*) und somit im Vergleich zum Folgen des Straßenverlaufs über eine Drehbewegung (*V2* & *V4*: $Md = -1$; $M = -0.51$, $SD = 1.04$) besser bewertet. Der Unterschied zwischen der Kipp- und Drehbewegung ist statistisch signifikant ($Z = -4.36$, $p = .000$).

Im direkten Vergleich entscheiden sich 83% der Probanden für das Konzept, bei dem der Straße über ein Kippen gefolgt wird (siehe Abbildung 64a). Nur 17% der Versuchsteilnehmer bevorzugen eines der Konzepte, bei denen der Straße über eine Drehbewegung gefolgt wird.

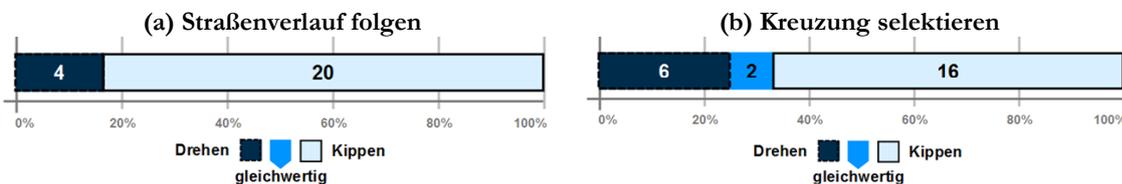


Abbildung 64 Bewertung der Konzepte Straßenverlauf folgen und Kreuzung selektieren

Selektion an Knoten – Im Durchschnitt bewerten die Teilnehmer ein Wechseln der Straße über eine Kippbewegung (*V1* & *V4*: $Md = 1$; $M = 0.92$, $SD = 1.11$; Skala von -2 *sehr schlecht* bis 2 *sehr gut*) im Vergleich zum Straßenwechsel über Drehen (*V2* & *V3*: $Md = 1$; $M = 1.04$, $SD = 1.10$) annähernd gleich. Die Aufmerksamkeit, die aufgewendet werden muss, wird beim Straßenwechsel über Kippen ($Md = 0$; $M = 0.17$, $SD = 1.03$; Skala von -2 *sehr viel Aufmerksamkeit* bis 2 *sehr wenig Aufmerksamkeit*) im Vergleich zum Drehen ($Md = -1$; $M = -0.38$, $SD = 1.07$) als geringer eingeschätzt. Der Unterschied beim Straßenwechsel über Kippen und Drehen ist statistisch signifikant ($Z = -3.61$, $p = .002$).

Im Vergleich bevorzugen 67% der Versuchsteilnehmer einen Straßenwechsel an Kreuzungen über Kippen, 25% entscheiden sich für das Drehen, 8% bewerten die Konzepte gleich (siehe Abbildung 64b).

Operatorspezifische Aufgaben (F3) – Beide Visualisierungskonzepte werden im Mittel positiv bewertet, wie Abbildung 65 verdeutlicht (*Split Screen*: $Md = 1$; $M = 0.71$, $SD = 1.14$; *HML*: $Md = 1$; $M = 0.67$, $SD = 1.14$; Skala von -2 *sehr schlecht* bis 2 *sehr gut*).

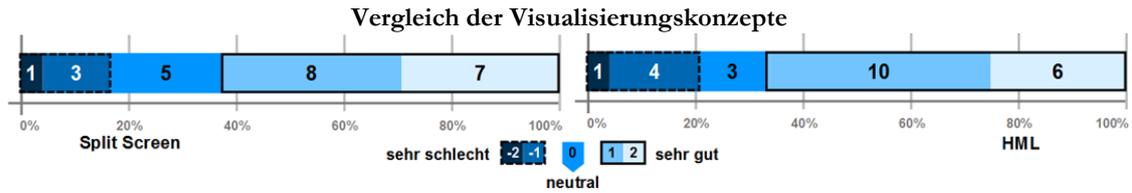


Abbildung 65 Bewertung der Visualisierungskonzepte in den operatorspezifischen Aufgaben

Bei der Bewertung der Visualisierungen bezüglich der Unterstützung der Aufgabenerfüllung sind im Mittel leichte Differenzen zu erkennen (siehe Abbildung 66). Die *HML* wird mit $Md = 2$ ($M = 1.83$, $SD = 0.37$; Skala von -2 *unterstützt überhaupt nicht* bis 2 *unterstützt absolut*), die *Split Screen*-Darstellung mit $Md = 2$ ($M = 1.54$, $SD = 0.71$) bewertet. Die Unterstützung bei der Aufgabenerfüllung weist statistisch signifikante Unterschiede zwischen der *HML* und *Split Screen* ($Z = -2.64$, $p = .008$) auf.

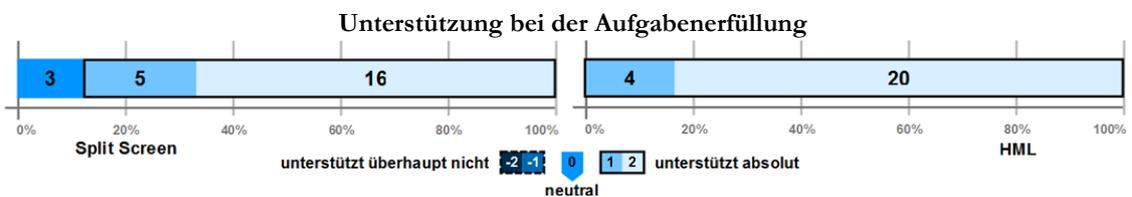


Abbildung 66 Bewertung der Aufgabenerfüllung in den operatorspezifischen Aufgaben

Im Vergleich der zwei Visualisierungskonzepte bevorzugen 58% die *HML*. 71% der Probanden befürworten die *HML* als geeignetere Darstellung zur Aufgabenerfüllung. Die teilnehmenden Beobachtungen bestätigen diese Ergebnisse. Die Analyse des Interrater-Reliabilität-Maßes der beiden Beobachter nach Cohens Kappa führt zu einem Wert von 0.69. Das entspricht einer *guten* bis *ausgezeichneten* Übereinstimmung der subjektiven Bewertungen. Die subjektiven Bewertungen der beiden Beobachter ergeben, dass die Aufgaben mit der *HML* zu 67% ohne Probleme gelöst werden. Dagegen haben die Versuchsteilnehmer bei 18% der Aufgaben entsprechend Probleme bei der Lösungsfindung. Bei 13% der Aufgaben ist eine Hilfestellung durch den Versuchsleiter notwendig. Nur 2% der Aufgaben können nicht gelöst werden. Bei der *Split Screen*-Darstellung werden lediglich 55% der Aufgaben ohne größere Schwierigkeiten abgearbeitet. Bei 25% der Aufgaben entstehen Probleme beim Lösen. 18% können nur mit Hilfe des Versuchsleiters gelöst werden. Ferner werden 2% der Aufgaben in der *Split Screen*-Darstellung nicht gelöst.

Diskussion und Fazit

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Navigationskonzepte zusammen mit dem *SpaceNavigator* den Erwartungen entsprochen haben. Der *SpaceNavigator* für die Kartennavigation wird gegenüber der Maus als nutzerfreundlichere Eingabemodalität beurteilt. Das ist deswegen bemerkenswert, da die Teilnehmer angegeben haben, nur selten ein joystickartiges Interaktionsgerät genutzt zu haben. Die Visualisierung der aktuellen Kipprichtung wird von den Teilnehmern als sehr hilfreiche Funktion angesehen, da damit effizient ein spezifischer Punkt angesteuert werden kann.

Die *inhaltssensitive Navigation* erfordert nach der Probandeneinschätzung unter der Kippbedingung eine mittlere und unter der Drehbedingung viel Aufmerksamkeit. Jedoch zeigen die Beobachtungen, dass die Versuchsteilnehmer, die im Gegensatz zu den Operatoren das Straßennetz nicht gekannt haben, sich des Öfteren auf der Karte orientieren mussten. Zudem zeigt die Studie, dass das Kippen beim Folgen einer Straße dem Drehen des Eingabegeräts vorgezogen wird. Die Probanden begründen diese Entscheidung damit, dass die Kipp- und Navigationsrichtung auf einem realweltlichen Richtungscode beruht. Der Großteil der Probanden empfindet die Sprungfunktion zwischen Kreuzungen als besonders sinnvoll. Für die in der Studie verwendete einfache Netzstruktur (wenige

zusammentreffende Straßen an einer Kreuzung) geben die Probanden an, dass die Auswahl einer Straße über eine Kippbewegung des Eingabegeräts sehr gut geeignet ist. Jedoch sagen einige Probanden, dass bei sehr detaillierten und komplexen Netzstrukturen eine Drehbewegung zur Selektion verwendet werden sollte. Daraus lässt sich schließen, dass die eingeschränkten Freiheitsgrade bei der Drehbewegung dabei helfen, die Straßen gezielter auszuwählen.

Die Ergebnisse in den *operatorspezifischen Aufgaben* deuten darauf hin, dass die Teilnehmer enorme Schwierigkeiten haben, die geradlinige *Split Screen*-Darstellung mental mit einem gebogenen Straßenverlauf in Verbindung zu bringen. Das bestätigt die subjektive Einschätzung bezüglich der Unterstützung im Rahmen der Aufgabenerfüllung. Die *HML* wird gegenüber der *Split Screen*-Darstellung bevorzugt, da wichtige Detailinformationen (Kamerabilder) nahtlos in den Kontext integriert werden. Zusätzlich können die Detailgrade mittels Zoomstufen bedarfsgerecht bestimmt werden. Als einer der größten Vorteile der *HML* gegenüber der räumlich getrennten Variante erscheint die Eindeutigkeit zwischen Detail- und Kontextinformationen. Für die Probanden ist es bei der *HML* einfacher, eine Verbindung zwischen Detailinformationen und Straßenverlauf herzustellen.

Abbildung 67 verdeutlicht die Widersprüchlichkeit in der *Split Screen*-Darstellung. Wird die Position von *P1* mit den Fahrtrichtungen *Berlin* und *München* auf der Übersichtsdarstellung und mit den Fahrtrichtungen in der Detailansicht verglichen, zeigt sich, dass diese übereinstimmen. Kommt es aufgrund eines gebogenen Straßenverlaufs zu einer Richtungsänderung wird die Übereinstimmung an Position *P2* verworfen. Diese Inkonsistenz führt letztlich zu Problemen bei der Aufgabenerfüllung, da aufgrund der Krümmung von *P1* zu *P2* die Detailansicht nicht an dem entsprechenden Straßenverlauf ausgerichtet ist.

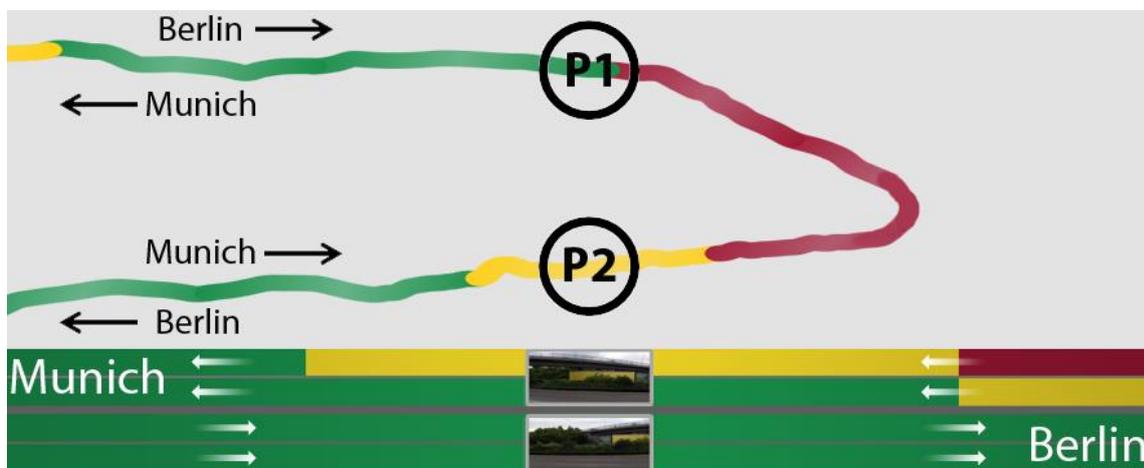


Abbildung 67 Split Screen-Darstellung mit gebogenem Straßenverlauf

Die Grafik zeigt eine Übersicht über einen Straßenverlauf mit zwei Fokuspunkten *P1* (Berlin rechts und München links). Nach einem gebogenen Straßenverlauf entspricht die Detailansicht für *P2* nicht mehr der korrekten Fahrtrichtung (München rechts und Berlin links) (Schwarz, Butscher, et al., 2012a).

In Bezug auf die erste Forschungsfrage (*F1*), wie die *freie Navigation* in der Kartendarstellung optimiert werden kann, erweist sich das *Vector-Scrolling* mittels *SpaceNavigator* als aussichtsreiche Möglichkeit. Die Navigation entlang von Straßen, die im Rahmen der zweiten Forschungsfrage (*F2*) avisiert worden ist, kann durch das Konzept der *inhaltssensitiven Navigation* effizienter gestaltet werden. Dabei wird die Kippbewegung bevorzugt, um der Straße zu folgen. Zur dritten Forschungsfrage (*F3*) wird aufgezeigt, wie Detailinformationen durch geeignete Visualisierungen präsentiert werden können. Dabei wird die implizite Darstellung von Detailinformationen über eine *HML*-Visualisierung in Kombination mit der *inhaltssensitiven Navigation* empfohlen.

Auf Basis der Benutzerstudie mit Studenten wird im folgenden Abschnitt eine weitere Studie mit Experten aus der Verkehrsüberwachung vorgestellt, um somit die Validität der Erkenntnisse zu bestätigen. Denn die *inhaltssensitive Navigation* erweist sich als ein erfolgversprechender Ansatz, um die Arbeit in der Verkehrsleitwarte zu vereinfachen. So bleiben aber einige Aspekte, die wie die Unterstützung einer Mehrbenutzerumgebung im Leitwartenkontext von großer Bedeutung sind, in dieser Studie unbeachtet.

5.1.4 Interaktionskonzept

Analog zum Konzept der Vorstudie sind die zentralen Elemente der Überwachungs- und Diagnoseebene die Fokuspunkte, die über den gesamten Überwachungsraum positioniert und verschoben werden können. Der Operator legt mittels der Fokuspunkte fest, welche Detailinformationen benötigt werden. Das Wanddisplay wird allerdings im Gegensatz zum vorherigen Konzept von mehreren Operatoren gleichzeitig genutzt (siehe Abbildung 68a). Daher ist es notwendig, dass die Konzepte mehr als einen Fokuspunkt unterstützen (siehe Abbildung 68b).

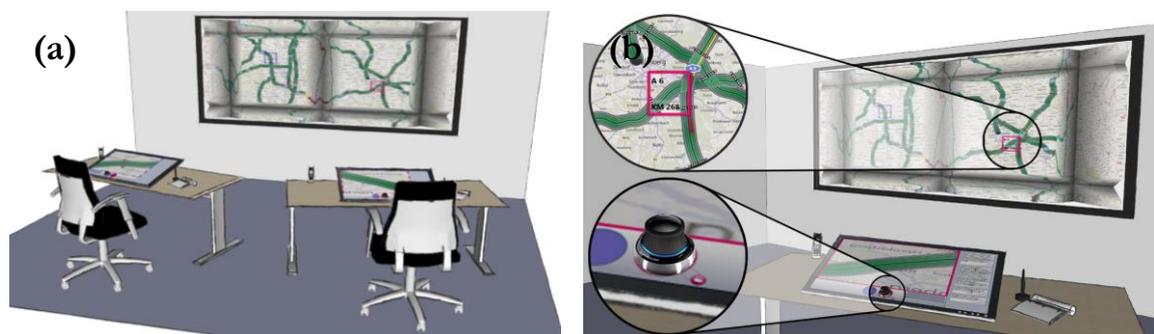


Abbildung 68 Überwachungs- und Diagnoseebene mit SpaceNavigator

(a) Zwei Operatorarbeitsplätze mit Überwachungs- und Diagnoseebene; (b) Steuerung der Fokuspunkte auf dem gemeinsam verwendeten Wanddisplay (Public Space) mit der inhaltssensitiven Navigation und dem SpaceNavigator (Schwarz, Butscher, et al., 2013)

Das Positionieren der Fokuspunkte auf dem Wanddisplay erfolgt mittels der *freien* und *inhaltssensitiven Navigation*, die zuvor evaluiert worden ist. Hierbei zeigt sich bei der *inhaltssensitiven Navigation*, dass, um den Straßen zu folgen, die Kipp- der Drehbewegung vorgezogen wird, da die Navigation auf einem gängigen Richtungscode beruht. Der *SpaceNavigator* wird bei der Untersuchung als zweckdienliches Eingabegerät bewertet und kommt im folgenden Konzept daher ebenfalls zum Einsatz (siehe Abbildung 68b). In der Arbeitsumgebung besitzt jeder Operator einen *SpaceNavigator*, um verschiedene Fokuspunkte auf dem Übersichtsbild zu steuern.

Navigation auf der Überwachungs- und Diagnoseebene

Die Vector-Scrolling-Technik in Verbindung mit dem *SpaceNavigator* erweist sich in der Vorstudie als vielversprechende Möglichkeit, die *freie Navigation* zu unterstützen. Aufgrund der Hinzunahme der Manipulationsebene und deren Ausschnitt des Prozessbilds, der einen Teil der Übersicht auf dem Wanddisplay widerspiegelt, wird die Darstellung des Fokus geändert. Dieser wird nun in Form eines Rechtecks dargestellt, um so dem Bildausschnitt der Manipulationsebene zu entsprechen (siehe Abbildung 69a).

Im Vergleich zum Konzept der Vorstudie werden dem *polymodalen Navigationselement* zusätzliche Funktionen hinzugefügt. Dem Operator wird beispielsweise detaillierter zurückgemeldet, ob er eine Verknüpfung zu einer Kante herstellen kann. Ein transparentes blaues Layer verdeutlicht, dass sich das *polymodale Navigationselement* über der Straße befindet (siehe Abbildung 69b). Jetzt kann eine Verbindung durch eine Drehbewegung, die von den Teilnehmern im Rahmen der Vorstudie bevorzugt

worden ist, zur Kante hergestellt werden. Bei bestehender Verbindung wird der *SpaceNavigator* in die gewünschte Navigationsrichtung gekippt, um die Straße entlang Detailinformationen abrufen zu können. Abbildung 69c zeigt das *polymodale Navigationselement*, nachdem dieses mit einer Straße verbunden worden ist.



Abbildung 69 Polymodales Navigationselement mit unterschiedlichen Zuständen

(a) Polymodales Navigationselement mit Richtungsvektor; (b) Polymodales Navigationselement mit blauer Einfärbung und gestrichelter Umrandung zum Wechsel in den Modus der inhaltsensitiven Navigation; (c) Polymodales Navigationselement mit Verbindung zur Kante, das durch das geschlossene Rechteck angezeigt wird, zusätzliche Anzeige von Autobahnnummer und Kilometerangabe

Trifft der Operator bei bestehender Verbindung während der Navigation auf einen Knoten, signalisiert ein Farbwechsel des *polymodalen Navigationselements* den aktiven Selektionsmodus. Wie beim Konzept in der Vorstudie wird die Navigation unterbrochen, und der Operator muss durch entsprechendes Kippen des Eingabegeräts die Richtung für den weiteren Verlauf der Kantennavigation bestimmen. Die Sprungfunktion zwischen den Knoten, die von den Teilnehmern der Voruntersuchung als essenzielle Funktion bewertet worden ist, ist auch in diesem Konzept fortgesetzt worden.

Selektion eines Fokuspunktes und Anzeige von Detailinformationen

Zunächst muss vom Operator ein Fokuspunkt selektiert werden, um die dazugehörigen Detailinformationen auf dem Wanddisplay (Überwachungs- und Diagnoseebene) abrufen zu können. Dieser Arbeitsschritt erfolgt auf der Manipulationsebene (siehe Abbildung 70).

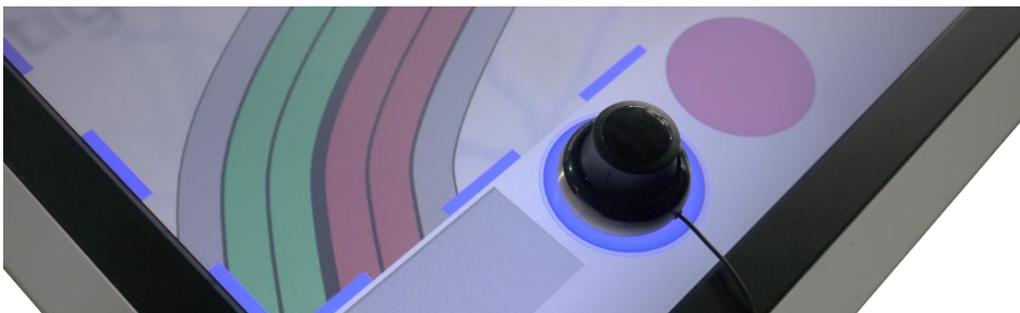


Abbildung 70 Konzept der TangibleContainer auf der Manipulationsebene

Der SpaceNavigator im blauen TangibleContainer kennzeichnet die Selektion des blauen Fokuspunktes auf der Überwachungsebene (Private Space). Mittels Farbcodierung (blau und rot) können die Fokuspunkte eindeutig den Arbeitsebenen zugeordnet werden.

Zentrale Elemente sind hierbei die *TangibleContainer*, die als Marker-Auflagefläche für den *SpaceNavigator* dienen. Die Marker sind farblich codiert (blau und rot) und stellen den Bezug zum gleichfarbigen Fokuspunkt her. Um einen Fokuspunkt auszuwählen, muss das Eingabegerät auf den Marker gelegt werden.

Im Konzept wird eine Arbeitsumgebung gestaltet, die zwei Fokuspunkte unterstützt, so dass einem Operator für jeden Fokuspunkt in der Überwachungs- und Diagnoseebene jeweils ein *TangibleContainer* zur Verfügung steht.

Somit ist mittels der belegten *TangibleContainer* und des farblichen Fokuspunktes immer klar zu erkennen, welcher Operator welchen Fokuspunkt kontrolliert (siehe Abbildung 71a). Wird beispielsweise ein Fokuspunkt von einem anderen Kollegen verwendet, ist die Auswahl nicht durchführbar, was dem Operator über das Ausgrauen des Markers signalisiert wird (siehe Abbildung 71b). Erst wenn der andere Operator den Fokuspunkt durch Entfernen des *SpaceNavigators* von der Ablagefläche freigibt, ist der jeweilige Fokuspunkt verfügbar (siehe Abbildung 71c). Die Verfügbarkeit wird mit einer Umrandung des Markers visualisiert.

Die zusätzlichen Detailinformationen in Form von Kamerabildern werden in Abbildung 71d vom Operator aktiviert. Das Konzept sieht vor, dass bei Abwesenheit des Kollegen von einem Operator mehrere Fokuspunkte übernommen werden können.

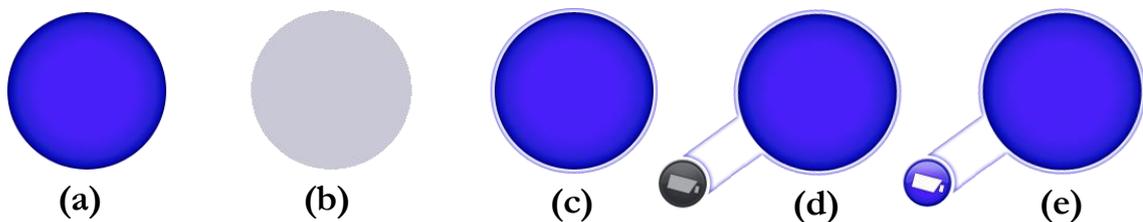


Abbildung 71 TangibleContainer mit unterschiedlichem Status auf der Manipulationsebene

(a) Selektion eines Fokuspunktes; (b) Selektion eines Fokuspunktes nicht möglich (Marker wird ausgegraut), da von einem anderen Operator verwendet; (c) Selektion des Fokuspunktes in der freien Navigation (zusätzliche Umrandung des Markers), keine Verbindung zu einer Straße; (d) Fokuspunkt im Modus der inhaltsensitiven Navigation, ohne zusätzliche Anzeige von Detailinformationen; (e) Fokuspunkt im Modus der inhaltsensitiven Navigation, selektiert mit Verbindung zur Straße, mit Anzeige von zusätzlichen Detailinformationen (Butscher, 2012)

Analog zum Ansatz der Vorstudie wird auch in diesem Konzept die zusätzliche Darstellung von Detailinformationen in Verbindung mit der *inhaltsensitiven Navigation* umgesetzt. Demnach werden die Informationen in den Kontext integriert und bei Bedarf angezeigt.

Bei der *inhaltsensitiven Navigation* werden zum einen automatisch die richtigen Kamerabilder selektiert, und zum anderen wird die Ausrichtung der Kamera exakt berechnet, um möglichst detaillierte Informationen über die Streckenabschnitte zu bekommen. Beim Abfahren eines Streckenabschnitts erfolgt nicht nur die Ausrichtung der Kamera, sondern auch das automatisierte Umschalten zur nächsten Kamera. Die zusätzlichen Detailinformationen können im Rahmen von Überwachungs- und Diagnosetätigkeiten bei Bedarf herangezogen werden. Um einer Verdeckung wichtiger Prozessvariablen zu entgehen, können die Informationen jederzeit ausgeblendet werden. Das Hin- und Herschalten von zusätzlichen Detailinformationen geschieht auf der Manipulationsebene anhand der Selektion eines Buttons am *TangibleContainer*, der nur angezeigt wird, wenn eine Verbindung zu einer Straße besteht (siehe Abbildung 71e).

Wie Abbildung 72 zeigt, werden die Kamerabilder direkt am *polymodalen Navigationselement* positioniert. Die Position der Kamerabilder wird anhand eines speziellen Algorithmus berechnet, um abhängig vom Straßenverlauf die Bilder so zu platzieren, dass diese die Streckenabschnitte nicht überdecken.



Abbildung 72 Integration von Detailinformationen in den Kontext

Mit dem blauen Fokuspunkt wird eine Verbindung zur Straße hergestellt. Zusätzlich werden pro Fahrtrichtung dynamische Kamerabilder angezeigt.

5.1.5 Visualisierungskonzept

Neben der Interaktion ist gerade im Kontext von Mehrbenutzerumgebungen die Prozessvisualisierung, die dynamische und zeitkritische Darstellungen anzeigt, essenziell. Um den Anforderungen, die sich daraus ergeben, wenn mehrere Operatoren gleichzeitig auf eine gemeinsame Prozessvisualisierung zugreifen, gerecht zu werden, müssen geeignete Darstellungsformen geschaffen werden. Die Vorstudie zeigt, dass die Probanden die Focus+Context-Darstellung der *Hybrid Magic Lens-View (HML)* gegenüber dem Overview+Detail-Entwurfsmuster der *Split Screen*-Darstellung präferieren. Grund für das positive Abschneiden der Focus+Context-Darstellung ist die schnell erkennbare Verbindung von Detail- und Kontextinformationen. Infolgedessen ist die *HML* weiterentwickelt worden. Ferner wird die *Folding-View* vorgestellt, die sich an der *Mélange Space Folding*-Technik (Elmqvist et al., 2008) orientiert. Außerdem wird eine Visualisierung beschrieben, die die Veränderungen in der Prozessdynamik darstellt und durch das *Halo*-Konzept von Baudisch und Rosenholtz (2003) motiviert ist.

Hybrid Magic Lens-View

Im Konzept wird der Ansatz verfolgt, den Fokuspunkt auf dem Wanddisplay zu vergrößern, indem eine Kombination aus Fisheye-Verzerrung und *Magic Lens*-Filter eingesetzt wurde. Maßgeblich für die Gestaltung der Visualisierung ist auch bei diesem Ansatz das *Conceptual Blending* (siehe Abbildung 73). Als *Input Space 1* für die *HML* dient die Geometrie, die einem Pyramidenstumpf ähnelt und mit einer Art dehnbaren Karte überzogen ist. Um den Realitätsbezug dieses ersten *Input Spaces* nochmals zu steigern und so dem Operator ein Bewusstsein für den Raum zu schaffen, wird der verzerrte Teil in ein dunkles Grau eingefärbt. Um den Fokuspunkt wird durch die Fisheye-Verzerrung der angrenzende Bereich grafisch gestaucht. Das hat den Vorteil, dass die Vergrößerung des Fokuspunktes nicht die kontinuierliche Prozessdarstellung überdeckt. Die Stauchung erzeugt einen dreidimensionalen Effekt mit der Wirkung, als würde sich der Fokuspunkt aus der Prozessvisualisierung hervorheben. Dem Operator erscheint durch diesen Effekt der mittlere Bereich näher. Als *Input Space 2* wird im mittleren Bereich der Linse ein *Magic Lens*-Filter eingesetzt, um dadurch eine semantische Anreicherung des Prozessausschnitts zu erhalten. Die Linse ist um eine digitale, nicht realistische Eigenschaft erweitert worden. Der Grad der Detaillierung im Zentrum der Linse

kann je nach Situation angepasst werden. Somit kann jeder Operator nach seinen aktuellen Bedürfnissen die Zoomstufe individuell wählen (siehe Abbildung 73).



Abbildung 73 Konzept der HML-View mit unterschiedlicher Zoomstufe

Das Verkehrsaufkommen wird in der Übersicht kumuliert und farblich codiert (grün = freier Verkehr, gelb = stockender Verkehr und rot = Stau) dargestellt. Die linke HML mit blauem Fokus ist auf eine niedrige Zoomstufe eingestellt, d. h. wenige Detailinformationen. Die rechte HML mit rotem Fokuspunkt stellt eine hohe Zoomstufe dar.

Der dem Konzept zugrundeliegende Algorithmus vergrößert den Fokusbereich, verzerrt ihn jedoch nicht. Durch die rechteckige Form der Fisheye-Verzerrung wird eine konstante Skalierung ermöglicht. Die Geometrie der Fokusregion wird sowohl für die Überwachungs- und Diagnoseebene als auch auf der Manipulationsebene verwendet, um eine stärkere mentale Verbindung der Ansichten zu schaffen. Der daraus resultierende *Blend*, die *HML-View*, erlaubt es mehreren Operatoren, an beliebigen Stellen im gesamten Informationsraum – in diesem Fall an der Übersichtskarte – effizient zu beobachten. Dabei bleibt der räumliche Kontext der Objekte erhalten. Die Zoom-Operation wirkt sich hierbei lediglich auf die Filtereigenschaften der *Magic Lens*, aber nicht auf die Skalierung der gesamten Prozessvisualisierung aus. Diese Restriktion verhindert, dass durch Zoomen in der Ansicht Teile der Prozessvisualisierung in einen nicht sichtbaren Displaybereich gelangen. Außerdem müssen sich die Operatoren untereinander nicht auf eine bestimmte Zoomstufe festlegen. Durch vollständiges Herauszoomen wird die *HML* gänzlich ausgeblendet.

Folding-View

In der Prozessvisualisierung auf der Überwachungs- und Diagnoseebene wird beim Konzept der *Folding-View* eine Faltung abhängig von der Positionierung der Fokuspunkte vorgenommen. Die *Space Folding-Technik Mélange* von Elmqvist et al. (2008) ist auf Basis der Anforderungen aus dem Leitwartenkontext optimiert worden. Hierbei ist vor allem die Interaktion erweitert worden. Dabei wird analog zur *HML* eine Art *Magic Lens*-Filter integriert, um so eine grafische und auch eine semantische Vergrößerung der Prozessvisualisierung zu schaffen. Basierend auf der Focus+Context-Technik wird für die Darstellung von Detailinformationen in Abhängigkeit von der Position der Fokuspunkte eine Visualisierung gestaltet. Diese ermöglicht es, auf dem Wanddisplay lokale Details ohne Kontextverlust zu analysieren.

Die *Folding-View* basiert auf einer Kombination aus einem realen physischen Konzept mit digitalen Möglichkeiten. Eine Prozessvisualisierung in Form einer Kartendarstellung wird mit den Eigenschaften eines gefalteten Papiers kombiniert (siehe Abbildung 74). Das Konzept der Faltung (*Input*

Space 1 nach der Notation des *Conceptual Blending*) enthält viele Eigenschaften aus der physischen Welt. Die Größe eines Papierblatts kann durch Falten verkleinert werden. Dabei sind alle Bereiche der Papieroberfläche auch weiter sichtbar. Der *Input Space 2* (Konzept der Prozessvisualisierung) bietet digitale Möglichkeiten wie beispielsweise das kontextspezifische Ein- und Ausblenden von Informationen. Die digitale Welt schafft einen weiteren Vorteil innerhalb der Prozessvisualisierung durch Panning und Zooming.

Der als *Folding-View* bezeichnete *Blend* stellt eine Visualisierungstechnik dar, bei der die Prozessvisualisierung in Abhängigkeit von der aktuellen Position der Fokuspunkte gefaltet wird. Das realweltliche Konzept eines gefalteten Blatt Papiers ermöglicht ein leichtes Verstehen des verzerrten Informationsraums (Elmqvist et al., 2008).

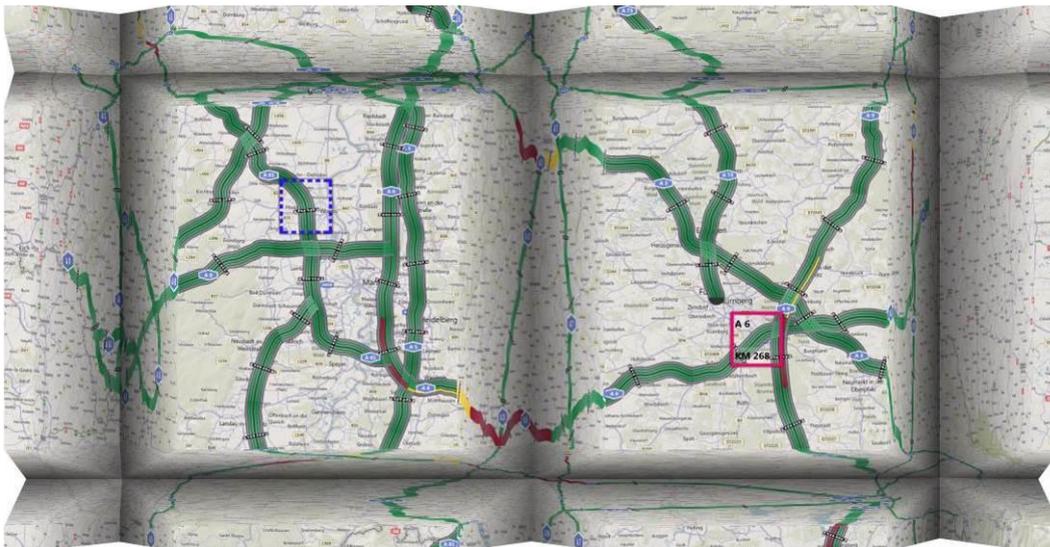


Abbildung 74 Folding-View auf der Überwachungs- und Diagnoseebene

Die Abbildung zeigt ein Übersichtsbild eines gesamten Prozesses im Kontext der Verkehrsüberwachung. Innerhalb der Fokusregionen werden die Fahrbahnen je nach Verkehrsaufkommen farblich codiert. In den Falten zwischen den Fokusregionen wird lediglich eine kumulierte Verkehrssituation dargestellt (Schwarz, Butscher, et al., 2012b).

Die Fokuspunkte definieren die Fokusregionen, an denen die Detailinformationen dargestellt werden. Randbereiche werden durch horizontale und vertikale Falten vom Operator weg hinein in das Display (Z-Achse) projiziert. Diese Faltungen schaffen mehr Platz, um die Fokusregionen vergrößert darzustellen zu können. Dadurch wird eine semantische Anreicherung der Regionen möglich. Durch die Faltung bleibt der Kontext von Detailinformationen bewahrt. Neben dem Kontextbezug erhält der Nutzer durch das Konzept der Faltungen auch eine Orientierung über die Distanzen (Elmqvist et al., 2008).

Der Algorithmus ist so umgesetzt worden, dass Falten bei zu großen Abständen zwischen den Fokuspunkten entstehen. D. h., es wird eine neue Falte eingefügt, wenn zwischen den beiden Fokuspunkten aus Mangel an Raum eine unverzerrte Darstellung der Prozessvisualisierung nicht mehr realisierbar ist. Die neue Falte nimmt mit steigender Distanz der Fokuspunkte an Tiefe zu. Somit wird in Verbindung mit der *inhaltssensitiven Navigation* ein kontinuierliches Verschieben der Fokusse erzeugt. Dabei wird die Faltung dynamisch daran angepasst. Analog zur *HML* ist die Schattierung in den Falten ein visueller Hinweis, der die Faltengröße darin unterstützt, die Tiefe und letztlich die Distanz der Fokusregionen korrekt einzuschätzen. Der entwickelte Faltungsalgorithmus sorgt mit Hilfe einer geführten Animation dafür, dass die Faltung nicht unvorhergesehen angezeigt bzw. ausgeblendet wird, sondern kontinuierlich erscheint. Das ist auch der Hauptunterschied zu der von

Elmqvist et al. (2008) entwickelten *Mélange*-Technik. Bei dieser sind zum Teil weniger Faltungen notwendig, dafür erscheinen und verschwinden sie aber plötzlich. Der Algorithmus der *Folding-View* wird so implementiert, dass sich die Fokuspunkte niemals in einer Faltung befinden können. Zur Erleichterung der Orientierung wird die relative Position der Prozessvariablen zueinander beibehalten. Befindet sich ein Objekt (Straße) in der Prozessvisualisierung oberhalb eines anderen Objekts (Kreuzung), so bleibt die Position der Straße auch nach der Faltung oberhalb der Kreuzung.

Darüber hinaus unterscheidet sich das Konzept dahingehend von der *Mélange*-Technik, dass immer der gesamte Informationsraum sichtbar bleibt. Das ist für die Arbeit von Operatoren speziell auf dem Wanddisplay wichtig. Diese Technik ermöglicht eine kooperative Nutzung der Prozessvisualisierung. Dadurch wird über alle Operatoren hinweg ein einheitliches Prozessverständnis geschaffen. Somit wird transparent, an welcher Stelle im Prozess die Operatoren tätig sind.

Circles

Veränderungen in der Prozessdynamik müssen dem Operator schnellstmöglich ersichtlich sein. Gerade bei monotonen Überwachungstätigkeiten, die zu einem Rückgang der *Vigilanz* führen, müssen eintretende Ereignisse visuell hervorgehoben werden. Nach Rensink, O'Regan und Clark (1997) kann es beim Operator zu einer sog. Veränderungsblindheit (*Change Blindness*) kommen, wenn auf einem sehr großen Informationsraum visuelle Änderungen aufgrund von Informationsvielfalt nicht wahrgenommen werden. Hinzu kommt, dass der Operator beispielsweise durch ein Ereignis, z. B. einen eingehenden Telefonanruf, abgelenkt wird. Eine zwischenzeitliche Abweichung in der Prozessvisualisierung kann nicht direkt wahrgenommen werden.

Für die Aktivierung auf der visuellen Ebene werden im Konzept sog. *Circles* eingesetzt, die die Stelle markieren, in der der Operator einen anomalen Betriebszustand vorfindet. Abbildung 75a zeigt die Integration der *Circles* in die *HML-View* und Abbildung 75b zeigt die *Circles* in der *Folding-View*.

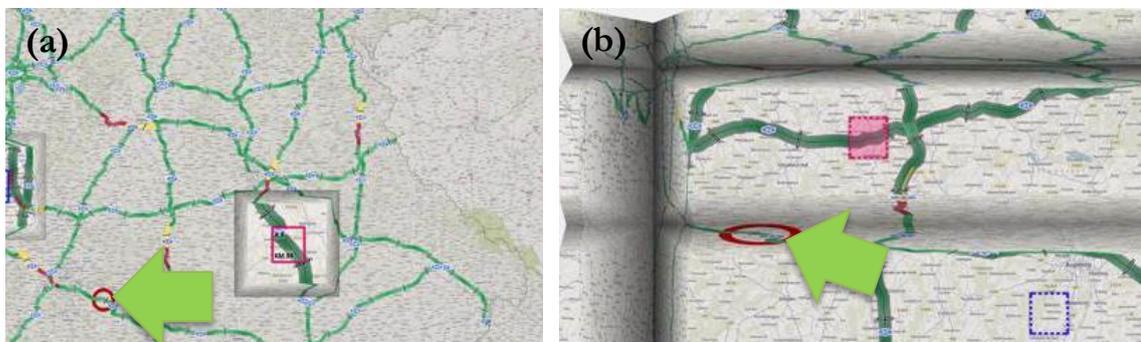


Abbildung 75 Integration von Circles in der HML- und Folding-View

Die roten Circles (siehe grüner Pfeil) werden in der Prozessvisualisierung der (a) HML-View und der (b) Folding-View eingesetzt, um dem Operator Veränderungen in der Prozessdynamik zu signalisieren (Butscher, 2012).

Circles basieren auf dem Ansatz der *Halos* von Baudisch und Rosenholtz (2003). *Halos* stellen Objekte, die außerhalb der Anzeigefläche liegen, durch einen Kreisausschnitt am Rande des Bildschirms dar. Dabei repräsentiert der Mittelpunkt des Kreissegments die Position des gesuchten Objekts, und der ange deutete Kreis spiegelt die Distanz von der aktuellen Position zum Objekt wider.

Im Gegensatz zu *Halos* werden *Circles*, die animiert ihre Größe ändern, nur im sichtbaren Informationsraum angezeigt. Jedoch werden Veränderungen in der Prozessdynamik, die in den Falten der *Folding-View* verortet sind, dem Operator auch visuell zugänglich gemacht. Die *Circles* geben dem Operator auf dem visuellen Kanal die Interaktionsrichtung vor.

5.1.6 Interaktions- und Visualisierungskonzept der Manipulationsebene

In alltäglichen Prozesssituationen verbringen die Operatoren nur wenig Zeit mit der Manipulation von Prozessvariablen. Deshalb wird diese Tätigkeit auf dem horizontalen Interactive Tabletop ausgeführt. Von der Darstellung der Informationen auf der Manipulationsebene ist abhängig, wie die Fokuspunkte auf der Überwachungs- und Diagnoseebene platziert werden. Das *polymodale Navigationselement (Public Space)* repräsentiert den Prozessausschnitt mit hohem Skalierungsfaktor auf der Manipulationsebene. Im Folgenden wird beschrieben, wie die Manipulation von Prozessvariablen sowie die Funktion der Meldungsliste gestaltet worden ist. Die *TangibleContainer* zur Selektion der Fokuspunkte sind bereits zuvor beschrieben worden.

Interaktionskonzept

Es wird zunächst die Navigation zur Prozessvariablen für den manuellen Eingriff und die Interaktion in Verbindung mit eingehenden Meldungen vorgestellt. Beide Konzepte sind hierbei exemplarisch gestaltet, um mit den Operatoren in der Expertenbefragung mögliche Lösungsansätze zu diskutieren.

Manipulation von Prozessvariablen – In diesem Konzept wird ein Ansatz präsentiert, um die Möglichkeit zu schaffen, die zu manipulierenden Prozessvariablen schnellstmöglich zu erreichen. Der Fokuspunkt, der auf der Überwachungs- und Diagnoseebene mit der *inhaltssensitiven Navigation* gesteuert wird, ist mit dem sichtbaren Prozessausschnitt auf der Manipulationsebene synchron. Wenn der Operator auf der Überwachungs- und Diagnoseebene die Problemursache erkannt hat, wechselt er im Anschluss auf die Manipulationsebene, um dadurch einen manuellen Eingriff vornehmen zu können. Durch die Synchronisation der Arbeitsebenen müssen die Kontextinformationen nicht erneut vom Operator ausgewählt werden. Manche Situationen wie die Seitenstreifenfreigabe erfordern jedoch den manuellen Eingriff in Prozessvariablen auch im nicht sichtbaren Ausschnitt des zu überwachenden Raums. Um ein ständiges Wechseln zwischen den Arbeitsebenen zu umgehen, wird auf dem horizontalen Interactive Tabletop durch Panning der Prozessausschnitt verschoben. Hierbei wird das Verhalten der *inhaltssensitiven Navigation* fortgeführt. Die Pan-Bewegung muss vom Operator nur grob den Straßenverlauf entlang ausgeführt werden. Analog zum Konzept auf dem Wanddisplay (*Public Space*) wird die Navigation an Knoten unterbrochen. Diese kann durch eine erneute Pan-Bewegung entlang der gewünschten Kante fortgesetzt werden. Auch auf der Manipulationsebene wird die *freie Navigation* über Panning unterstützt.

Wie zuvor beschrieben, erfolgt durch die *inhaltssensitive Navigation* das Abrufen von Detailinformationen automatisch. So kann beispielsweise bei der Freigabe eines Seitenstreifens komfortabel entlang der Straße navigiert werden. Die Kamerabilder von den Streckenabschnitten vor Ort werden der Reihe nach aufgeschaltet. Der Operator wechselt nur bei manuellen Eingriffen bei der Manipulation von Prozessvariablen auf die Manipulationsebene. Aus diesem Grund muss dem Operator auch die Möglichkeit gegeben werden, die Navigation auf der Manipulationsebene ausführen zu können. Sonst wäre gerade für kurze Streckenabschnitte ein ständiger Navigationswechsel zwischen der Überwachungs- bzw. Diagnoseebene und der Manipulationsebene zu der Seitenstreifenfreigabe notwendig. Maßgeblich für die Gestaltung von Benutzungsschnittstellen im Kontext von sicherheitskritischen Systemen ist, dass dem versehentlichen Auslösen von Funktionen entgegengewirkt wird. Aus diesem Grund ist für die Manipulation von Prozessvariablen wie den dynamischen Verkehrszeichen einer Verkehrsbeeinflussungsanlage ein Sicherungsmechanismus vorgeschaltet.

Das sog. *CircularMenu* baut sich mit einer zirkulären Animation bei Berührung um das Verkehrszeichen auf (siehe Abbildung 76a). Als Sicherungsmechanismus muss die Berührung vom Operator dauerhaft erfolgen (siehe Abbildung 76b), anderenfalls wird das Menü automatisch geschlossen. Die Auswahl der Werte – in diesem Fall der Selektion des Verkehrszeichens – erfolgt mit dem Verschieben des Fingers auf die Position des entsprechenden Quadranten (siehe Abbildung 76c).

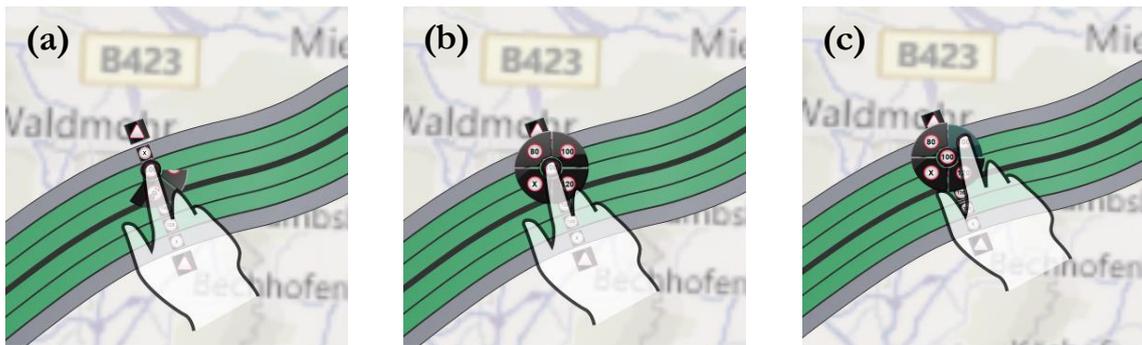


Abbildung 76 CircularMenu auf der Manipulationsebene

(a) Auswahl der Prozessvariablen; (b) Aufbau des Menüs mit einer zirkulären Visualisierung; (c) Auswahl des entsprechenden Werts

Dieser beispielhafte Ansatz ist für die Manipulation von numerischen Werten nicht geeignet, d. h., es muss je nach den Prozessvariablen entschieden werden, welche Art von Widget für die direkte realitätsbasierte Manipulation auf dem Interactive Tabletop sinnvoll ist. In Abschnitt 6.1 wird die realitätsbasierte Interaktion auf der Manipulationsebene detailliert diskutiert.

Meldungen – Wie die Nutzungskontextanalyse zeigt (siehe Abschnitt 3.2.3), werden die Meldungen derzeit auf einem separaten Bildschirm angezeigt. Über eine Störmeldung wird dem Operator ein anormaler Betriebszustand mitgeteilt. Hierbei kann zwischen einer automatischen vom System generierten und einer manuell angelegten Meldung, wenn beispielsweise die Störung per Telefon aufgenommen wird, unterschieden werden. Die eingehenden Meldungen erscheinen im Konzept zwischen den beiden Operatorarbeitsplätzen auf der Manipulationsebene (siehe Abbildung 77a). Somit haben beide Operatoren direkten Zugriff auf die Meldungen. Um eine Meldung abarbeiten zu können, muss diese im persönlichen Arbeitsbereich im sog. *NoteContainer* abgelegt werden (siehe Abbildung 77b).

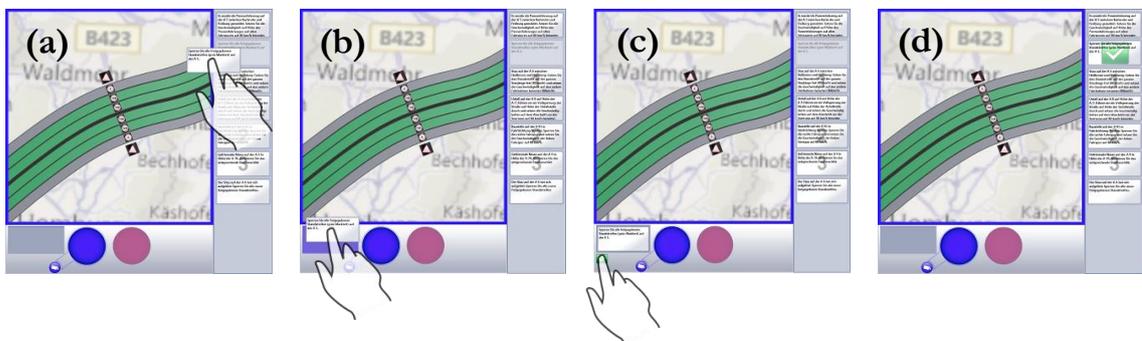


Abbildung 77 Meldungsliste auf der Manipulationsebene

Schematische Darstellung der Bearbeitung einer Meldung: (a) Auswahl einer Meldung aus der Liste; (b) Positionierung der Meldung im persönlichen Arbeitsbereich; (c) Aktuelle Bearbeitung der Meldung; (d) Erfolgreiche Bearbeitung der Meldung (Butscher, 2012)

Hierzu zieht der Operator per *Drag & Drop* eine Meldung aus der Liste. Der *NoteContainer* ist nur sichtbar, wenn der jeweilige Fokuspunkt aktiv ist. Nach der Auswahl der Meldung wird diese in einem *Disabled*-Zustand weiterhin in der Liste dargestellt, um einem anderen Operator die Rückmeldung zu geben, dass gerade die Aufgabe bearbeitet wird. Die Meldung kann aber auch wieder vom Operator freigegeben werden, wenn sie nicht bearbeitet worden ist. Das geschieht, indem die Meldung aus dem *NoteContainer* herausgezogen wird. Im Anschluss erscheint die Meldung in der Liste zur Weiterbearbeitung. Eine abgelegte Meldung innerhalb des *NoteContainer* löst für den aktiven Fokuspunkt eine automatisierte Navigation auf der Überwachungs- sowie Diagnoseebene aus.

Der Fokuspunkt wird an die jeweilige Stelle im Prozess gefahren. Somit kann eine direkte Verknüpfung zwischen Meldung und Prozess hergestellt werden. Nachdem die Meldung erfolgreich abgearbeitet worden ist, kann sie als *abgeschlossen* markiert werden (siehe Abbildung 77c). Die Meldung wird als *bearbeitet* in der Meldungsliste abgelegt. Zusätzlich wird der Zustand entsprechend angepasst, um so die Tätigkeiten zu einem späteren Zeitpunkt oder für andere Kollegen zu dokumentieren (siehe Abbildung 77d). Die gestaltete Meldungsliste soll exemplarisch aufzeigen, wie die non-verbale Kommunikation verbessert werden kann. Das vorgestellte Konzept hat nicht den Anspruch, ein vollständiges Meldungsmanagement im Leitwartenkontext abzubilden.

Visualisierungskonzept

Ein Prozessausschnitt der Überwachungs- und Diagnoseebene wird auf der Manipulationsebene visualisiert. Dabei wird der Ausschnitt skaliert, der durch das *polymodale Navigationselement* auf dem Wanddisplay präsentiert wird (siehe Abbildung 78). Um eine eindeutige Zuordnung zwischen dem Fokus auf der Überwachungs- und Diagnoseebene sowie dem Ausschnitt der Manipulationsebene zu schaffen, sind beide einheitlich mit einem Rahmen farblich codiert. Der aktuell selektierte Fokus ist dem entsprechenden Detailausschnitt auf der Manipulationsebene zugeordnet. Durch die aufgabenbezogene Anordnung wird einem unnötigen Blickwechsel entgegengewirkt.

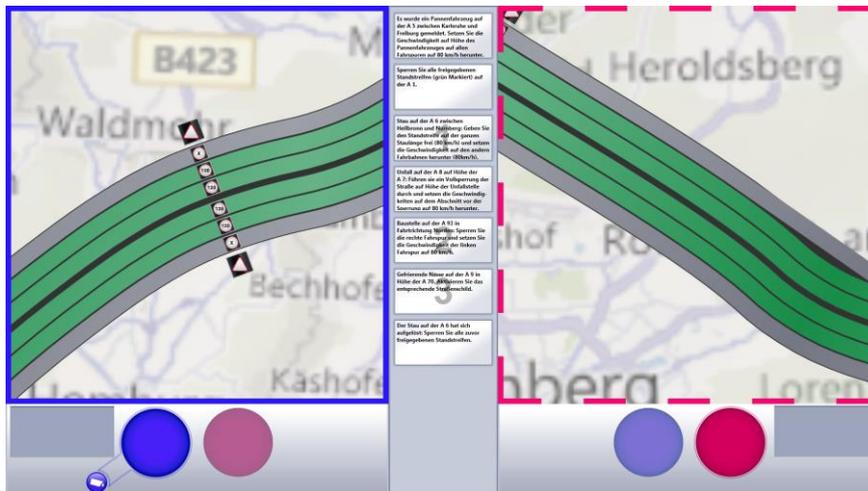


Abbildung 78 Visualisierung der Manipulationsebene mit zwei Arbeitsbereichen

Die Abbildung zeigt die exemplarische Integration von zwei Operatorarbeitsplätzen auf der Manipulationsebene. Der Arbeitsbereich ist durch die farbliche Markierung einem Fokuspunkt zugeordnet. Der geschlossene blaue Rahmen um den linken Arbeitsbereich signalisiert eine Verbindung zu einer Straße (Butscher, 2012)

Der Operator kann sich auf der Manipulationsebene umfangreiche Detailinformationen mit hohem Skalierungsfaktor anzeigen lassen. In der Verkehrsleitzentrale sind beispielsweise die aktuelle Verkehrssituation auf jeder Fahrspur sowie die Schilder von Verkehrsbeeinflussungsanlagen domänenspezifische Detailinformationen. Dabei werden die Informationen direkt in den Kontext integriert und sind darüber hinaus direkt vom Operator mittels Interactive Tabletop steuerbar.

5.1.7 Evaluation

In der folgenden Studie mit Experten aus der Verkehrsüberwachung werden die Auswirkungen der gestalteten Konzepte auf deren Einsatz in der Verkehrsleitzentrale untersucht. Dazu werden für die Überwachung und Diagnose des Informationsraums die *HML-View*, *Folding-View* sowie eine zusätzlich gestaltete *Kontrollbedingung* verglichen. Dabei soll überprüft werden, welchen Einfluss die Varianten in Bezug auf den Einsatz im Kontext der Verkehrsüberwachung haben. In der Vorstudie

konnte bereits eine positive Bewertung sowohl der *inhaltssensitiven Navigation* als auch der *HML-Darstellung* nachgewiesen werden. Jedoch sind in dieser Studie keine realen Nutzer befragt worden. Aus diesem Grund sollen in dieser Evaluation die ersten Eindrücke der studentischen Probanden von Experten bestätigt oder widerlegt werden. Darüber hinaus soll geprüft werden, ob die gestalteten Varianten im Rahmen einer Mehrbenutzerumgebung in der Verkehrsleitwarte eingesetzt werden können. Ein weiterer Aspekt, der in der Studie berücksichtigt werden soll, betrifft die Visualisierung von Detailinformationen. Dabei werden dem Operator in der *HML-View* und *Folding-View* detaillierte Informationen auf der Überwachungs- und Diagnoseebene angezeigt. Demgegenüber werden im alternativen Konzept (*Kontrollbedingung*) reduzierte Detailinformationen bereitgestellt, wie es in heutigen Konzepten der Fall ist. Ferner soll überprüft werden, ob sich die Verknüpfung von *inhaltssensitiver Navigation* und *HML-View* bzw. *Folding-View* auf die mentale Beanspruchung auswirkt. Schließlich wird der Frage nachgegangen, welchen Einfluss die Verbindung zwischen der Überwachungs- und Diagnoseebene sowie der Manipulationsebene gegenüber den getrennten Displayebenen, wie sie heute eingesetzt werden, hat.

Versuchsaufbau

Für die Überwachungs- und Diagnoseebene wird ein 64“ Display mit einer Auflösung von 4.096×2.160 Pixeln eingesetzt. Als Manipulationsebene wird im Abstand von 1,5 m vor diesem Display ein 55“ Interactive Tabletop in einer Höhe von 80 cm platziert. Das Multitouch-Display wird auf Basis der Studie von Bützler et al. (2010) in einem Winkel von 16° geneigt. Abbildung 79a zeigt den Versuchsaufbau im Labor, der zwei Operatorarbeitsplätze simuliert. Das Konzept der Meldungsliste wird zwischen den Arbeitsplätzen im *Private Space* platziert. Zusätzlich wird ein mobiler Versuchsaufbau entworfen, da nicht alle Experten in das Usability-Labor an der Universität Konstanz anreisen können (siehe Abbildung 79b).

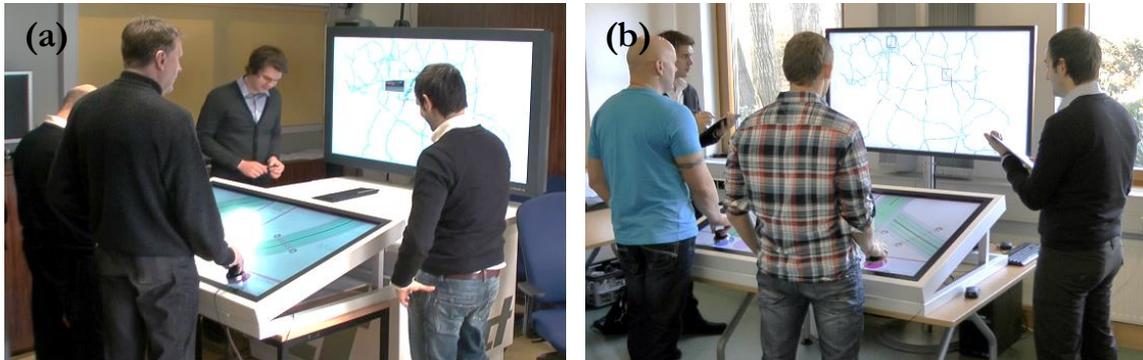


Abbildung 79 Versuchsaufbau im Labor und vor Ort in der Leitzentrale

(a) Laboraufbau der Universität Konstanz mit zwei Probanden und zwei teilnehmenden Beobachtern; (b) Mobiler Aufbau für die Untersuchung vor Ort

Für diesen Aufbau wird für die Überwachungs- und Diagnoseebene ein 55“ Display mit einer Auflösung von 1.920×1.080 Pixeln eingesetzt. Das Interactive Tabletop wird analog zum Laboraufbau genutzt.

Kontrollbedingung

Mit Hilfe der *Kontrollbedingung* soll der Frage nachgegangen werden, wie die Integration der Detailinformation auf der Überwachungs- und Diagnoseebene den Operator unterstützt. Um diese Frage zu beantworten, wird ein Referenzsystem ohne Visualisierung von Detailinformationen auf der Überwachungs- und Diagnoseebene umgesetzt. Den Probanden steht der analoge Funktionsumfang wie die *inhaltssensitive Navigation* und die Synchronisation der Displayebenen zur Verfügung. Mit dem *SpaceNavigator* können die Detailinformationen für die Manipulationsebene selektiert werden.

Lediglich die Darstellung des Verkehrsaufkommens auf der Überwachungs- und Diagnoseebene wird in kumulierter Form visualisiert.

Versuchsablauf

Der Ablauf der Untersuchung wird in zwei Teile aufgeteilt und dauert insgesamt etwa vier Stunden. Zum einen wird die *inhaltsensitive Navigation* und zum anderen werden die drei Prozessvisualisierungen (*HML-View*, *Folding-View* und *Kontrollbedingung*) anhand von *operatorspezifischen Aufgaben* untersucht.

Navigation – In der ersten Versuchsphase sollen die Ergebnisse der Vorstudie mit Studenten nochmals mit Experten validiert werden. Bei dieser Fragestellung wird die Manipulationsebene bei der Bewertung nicht einbezogen. Zu Beginn wird eine einheitliche Wissensbasis für alle Teilnehmer hergestellt, indem der Versuchsleiter eine standardisierte Einführung gibt. Darauf aufbauend, folgt die Explorationsphase, die von den Probanden parallel zur Einführung ausgeführt wird. Abschließend erhalten die Teilnehmer einen Fragebogen zur subjektiven Bewertung der Navigation.

Operatorspezifische Aufgaben – Das Hauptaugenmerk der Untersuchung liegt darauf, die beiden Varianten *HML-* und *Folding-View* mit der *Kontrollbedingung* zu vergleichen. Dabei soll auch die Synchronisation der Displayebenen in Verbindung mit der Manipulation von Prozessvariablen von den Experten beurteilt werden. Zu Beginn wird vom Versuchsleiter in das Zusammenwirken der Überwachungs- und Diagnoseebene mit der Manipulationsebene eingeführt. Im Anschluss erfolgt mit jeder der drei einzelnen Varianten ein Versuchsdurchlauf (*Within-subjects Design*). Innerhalb eines Durchlaufs wird anfänglich die jeweilige Prozessvisualisierung erläutert, im Anschluss daran folgt die Explorationsphase durch die Probanden.

Darauffolgend bearbeiten die Probanden in Zweiertteams acht operatortypische Aufgaben, z. B. „*Stau auf der A 3 zwischen Würzburg und Nürnberg: Geben Sie den Seitenstreifen auf der ganzen Staulänge frei und setzen Sie die Geschwindigkeit auf allen anderen Fahrbahnen herunter (80 km/h).*“ Für die Aufgabenerfüllung müssen Arbeitsschritte der Überwachung, Diagnose und Manipulation ausgeführt werden. Für die Überwachung werden unterschiedliche Aktivierungsarten eingesetzt, d. h. in Form von eingehenden Meldungen und durch Farbänderung eines Streckenabschnitts. Um den Experten möglichst realistische Szenarien bereitzustellen, werden die Arbeitsschritte auf Basis der Analyse vor Ort (siehe Abschnitt 3.2.3) abgeleitet. Um auf eine Aktivierung wie eingehende Meldungen reagieren zu können, muss eine Diagnose erstellt werden. Hierfür benötigen die Probanden zusätzliche Informationen, z. B. die Verkehrssituation pro Fahrspur. Es muss z. B. ein Stauende erkannt werden. Anschließend an die Diagnosetätigkeit müssen die Probanden auf ein simuliertes Problem reagieren. Dabei haben die manuellen Eingriffe unterschiedliche Schwierigkeitsgrade. Neben einfachen Manipulationen von einzelnen Verkehrszeichen müssen auch umfangreiche Freigaben von Seitenstreifen ausgeführt werden.

Nach der Bearbeitung der Aufgaben wird anhand des *NASA-Task Load Index (NASA-TLX)* die subjektive kognitive Beanspruchung gemessen. Im Anschluss an das jeweilige Visualisierungskonzept werden zum einen der *System-Usability Scale (SUS)*-Fragebogen zur standardisierten Abfrage des Gesamteindrucks vom System und zum anderen die subjektiven Einschätzungen mit einem speziell gestalteten Fragebogen erfasst. Den Teilnehmern wird anschließend in einem halbstrukturierten Experteninterview die Möglichkeit zur Diskussion geboten. Im Rahmen einer abschließenden Bewertung wird ein weiteres Experteninterview geführt sowie ein Fragebogen ausgehändigt. Hierbei werden die jeweiligen Visualisierungskonzepte gegenübergestellt, und das Zusammenspiel zwischen der Überwachungs- und Diagnoseebene mit der Manipulationsebene wird gemeinsam mit den Probanden diskutiert und bewertet.

Insgesamt werden fünf Expertenbeurteilungen mit je zwei Probanden erstellt. Aufgrund der ungeraden Teilnehmerzahl hat ein Experte die Untersuchung zweimal durchlaufen, wobei der redundan-

te Durchlauf des Teilnehmers nicht in die Auswertung einbezogen worden ist. Die Teilnehmer der jeweiligen Teams, die gemeinsam die Aufgaben durchlaufen haben, haben sich persönlich gekannt.

Methoden zur Datenerhebung und Auswertung

Im Rahmen der Studie werden sowohl quantitative als auch qualitative Methoden zur Datenerhebung eingesetzt. Während der Untersuchung wird die Interaktion mit dem *SpaceNavigator* auf der Überwachungs-, Diagnose- und Manipulationsebene mit einer Kamera aufgezeichnet. Eine zweite Kamera zeichnet die Überwachungs- und Diagnoseebene auf. Nachfolgend werden die Methoden und Instrumente erläutert.

Fragebogen – Zur Datenerhebung werden die standardisierten Fragebögen *NASA-TLX* und *SUS* sowie ein eigens entwickelter Fragebogen zur subjektiven Bewertung (Fünf-Punkte-Likert-Skala) eingesetzt. Mit Hilfe des *NASA-TLX* werden alle drei Visualisierungskonzepte in Verbindung mit der Interaktion bezüglich der Arbeitsbelastung einer Bewertung unterzogen. Die Untersuchung wird auf Basis des *NASA-TLX* nach Hancock, Meshkati, Hart und Staveland (1988) ausgeführt. In der mehrdimensionalen subjektiven Methode werden durch Subskalen die *geistige Anforderung*, *körperliche Anforderung*, *zeitliche Anforderung*, *Aufgabenbewältigung*, *Anstrengung* und *Frustration* bewertet. Neben den 20-stufigen Einzelratings innerhalb der sechs Subskalen (je Visualisierungskonzept) wird zusätzlich ein *Overall Workload Score* für die Gesamtbeanspruchung der drei Varianten berechnet. Der standardisierte *SUS*-Fragebogen nach Brooke (1996) besteht aus zehn Aussagen zum Themengebiet *Benutzbarkeit von Systemen*. Davon sind fünf Aussagen positiv sowie fünf Aussagen negativ formuliert. Die Aussagen werden auf einer Fünf-Punkte-Likert-Skala bewertet. Diese ist mit Werten von null bis vier kodiert. Negative Aussagen werden in der Kodierung von vier abgezogen. Nach der Summenbildung über alle Werte hinweg wird durch Multiplikation mit dem Faktor 2.5 der sog. *SUS-Score* ermittelt. Durch den Multiplikator wird der *SUS-Score* in Prozent angegeben. Nach Tullis und Albert (2008) weisen *SUS-Score*-Werte unter 60% auf Probleme der Nutzerakzeptanz hin. Zusätzlich zum *NASA-TLX* und *SUS* wird von den zwei Beobachtern ein halbstandardisiertes Fragebogeninstrument ausgefüllt, um die Aussagen sowie Auffälligkeiten bei der Interaktion mit den Konzepten aufzunehmen.

Teilnehmende Beobachtung – Analog zur Untersuchung vor Ort (siehe Abschnitt 3.2.2) werden die Experten auch durch zwei Forscher während der Aufgabenbearbeitung beobachtet. Neben der offenen Beobachtungsform mit der *Thinking Aloud-Methode* (Someren et al., 1994) werden die Daten anhand von halbstandardisierten Beobachtungsleitfäden erhoben.

Experteninterview – Die Interviews werden in halbstandardisierter Form mit den Experten aus der Verkehrsüberwachung geführt. Der Aufbau wird wie in der Nutzungskontextanalyse nach der Methode von Helfferich (2005) durch eine Leitfrage, eine Aufrechterhaltungsfrage und das abschließende konkrete Nachfragen gegliedert.

Stichprobe

An der Evaluation nehmen elf männliche Probanden aus drei verschiedenen Verkehrsleitzentralen (VZ Baden-Württemberg, VZ Hessen und VZ Südbayern) aus dem Bundesgebiet teil. Die sechs Operatoren und fünf Versuchsteilnehmer mit leitenden Tätigkeiten weisen ein Durchschnittsalter von 38 Jahren ($SD = 10.33$) auf. 81% der Experten geben an, dass sie bereits Erfahrung mit joystickähnlichen Eingabegeräten haben, z. B. bei der Steuerung von Videokameras zur Verkehrsüberwachung. Die Nutzungshäufigkeit liegt bei $M = 0.11$ ($SD = 1.37$; Skala von -2 *sehr selten* bis 2 *sehr häufig*). Alle Teilnehmer haben bereits Erfahrung in der Navigation mit Karten wie Google Maps oder aktuellen Systemen zur Verkehrsüberwachung. Sechs Experten geben an, mehrmals am Tag in internetbasierten Karten zu navigieren. Weitere zwei Teilnehmer interagieren mehrmals wöchentlich, die übrigen Probanden nutzen diese nur einmal oder mehrmals pro Monat. Zooming

und Panning werden von allen Experten im Zusammenhang mit Karten genutzt. Dabei liegt die Nutzungshäufigkeit für das Zooming bei $M = 1.00$ ($SD = 1.21$; Skala von -2 *sehr selten* bis 2 *sehr häufig*) und für das Panning bei $M = 1.01$ ($SD = 0.95$; Skala von -2 *sehr selten* bis 2 *sehr häufig*).

Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Expertenevaluation berichtet. Zunächst werden die Bewertungen der Navigationskonzepte sowohl für die Überwachungs- und Diagnoseebene als auch die Manipulationsebene, die in der ersten Forschungsfrage (*F1*) erfasst werden, vorgestellt. Im Anschluss werden die gestalteten Prozessvisualisierungen gegenübergestellt, um im Rahmen der zweiten Forschungsfrage (*F2*) herauszufinden, welche Form von Visualisierung die nonverbale Koordination und Kommunikation zwischen den Operatoren sowie dem Situationsbewusstsein fördert. Alle Signifikanzen gelten für ein Signifikanzniveau von $p < .05$.

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Forschungsfrage (*F1*) vorgestellt, die die Interaktion in Verbindung mit den Navigationskonzepten auf der Überwachungs- und Diagnoseebene sowie der Manipulationsebene avisiert.

Überwachungs- und Diagnoseebene – Die Verständlichkeit sowohl der *freien* als auch der *inhaltssensitiven Navigation* mit dem *SpaceNavigator* bewerten die Experten mit $Md = 1$ ($M = 1.18$, $SD = 0.57$; Skala von -2 *stimme überhaupt nicht zu* bis 2 *stimme völlig zu*), wie Abbildung 80 verdeutlicht.

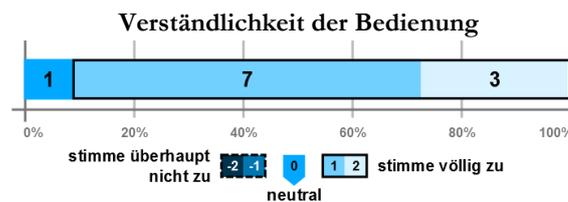


Abbildung 80 Bewertung der Navigation mittels SpaceNavigators²⁹

Die Einschätzung der Teilnehmer bestätigt sich nochmals durch die Erkenntnisse der teilnehmenden Beobachter, da diese bei der Interaktion mit den Fokuspunkten auf dem Wanddisplay keine Probleme gehabt haben. Im Rahmen der Experteninterviews sagt ein Proband beispielsweise Folgendes: „Ich finde die Navigation gut, also einfach und selbsterklärend.“ 90% der Experten geben an, dass die Richtungsanzeige innerhalb des *polymodalen Navigationselements* sehr gut bei der Orientierung unterstützt. Der *SpaceNavigator* in Verbindung mit der *inhaltssensitiven Navigation* für entfernte Wanddisplays wird positiv bewertet: „Der *SpaceNavigator* eignet sich sehr gut für die Steuerung von entfernten Displays.“ Dieselbe Probandengruppe gibt an, dass sogar bei ihrer neu gestalteten Leitzentrale die Interaktion auf dem Wanddisplays per Maus erfolgt. So muss bei der Navigation ständig mit dem Eingabegerät nachgegriffen werden. Das wiederum bestätigt zudem die Erkenntnisse aus der Analyse vor Ort (siehe Abschnitt 3.2.3).

Dem Straßenverlauf über ein Kippen des *SpaceNavigators* zu folgen, wird von den Experten mit $Md = 2$ ($M = 1.36$, $SD = 0.77$; Skala von -2 *sehr schlecht* bis 2 *sehr gut*) bewertet (siehe Abbildung 81a). Das entspricht den Ergebnissen der Vorstudie. Auch das Abbiegen an Kreuzungen mit Hilfe der Kipprichtung wird mit $Md = 1$ ($M = 1.00$, $SD = 0.85$; Skala von -2 *sehr schlecht* bis 2 *sehr gut*) bei dieser Form des Netzausschnitts positiv bewertet (siehe Abbildung 81b). Die Beobachtung zeigt, dass die Probanden während der Aufgaben mit der *freien Navigation* zielgerichtet an die Stelle im Übersichtsbild navigieren. Für die Diagnose wird aber meist sofort in die *inhaltssensitive Navigation* gewechselt, um der Problemursache nachzugehen.

²⁹ Die grafische Aufbereitung der Likert Skalen in Abschnitt 5.1.7 erfolgt mit Plot Likert Scales (<http://www.likertplot.com>, zuletzt aufgerufen am 24.05.2014).

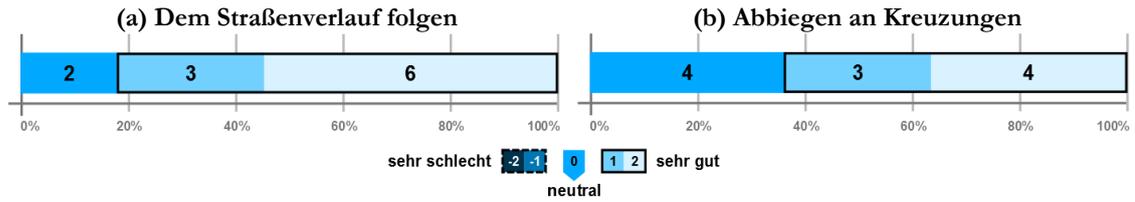


Abbildung 81 Bewertung dem Straßenverlauf folgen und Selektion an Kreuzungen

Die Experten bewerten im Durchschnitt die *freie Navigation* mit dem *SpaceNavigator* gegenüber der Mauseingabe (in der Studie nicht umgesetzt worden) als besser ($Md = 1$; $M = 0.45$, $SD = 0.15$; Skala von -2 *wesentlich schlechter* bis 2 *wesentlich besser*) (siehe Abbildung 82a). Somit können auch hier Ergebnisse der Vorstudie bestätigt werden.

Die Nützlichkeit der Funktion, schnell an Kreuzung zu springen, wird mit $Md = 2$ ($M = 1.00$, $SD = 1.21$; Skala von -2 *sehr verwirrend* bis 2 *sehr hilfreich*) bewertet (siehe Abbildung 82b). Das bestätigen auch die Ergebnisse der teilnehmenden Beobachtung, denn nach einer kurzen Eingewöhnungsphase wird diese Funktion sehr häufig genutzt.

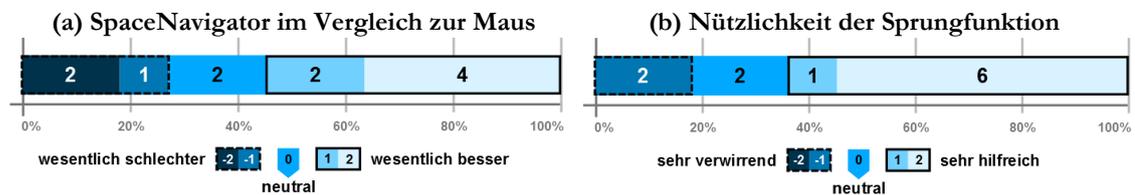


Abbildung 82 Bewertung im Vergleich zur Maus und Nützlichkeit der Sprungfunktion

Die Experten geben an, dass es in ihrem Arbeitskontext sinnvoll wäre, die Verkehrsbeeinflussungsanlagen um diese Funktion zu erweitern. Die Experten schlagen vor, ein Fadenkreuz in das *polymodale Navigationselement* zu integrieren, um die Genauigkeit der Zuordnung von Kilometerangaben zur tatsächlichen Position im Prozessbild zu präzisieren. Die Kilometerangaben sind beispielsweise für die Kommunikation mit Rettungskräften wichtig. Bei der Bearbeitung der Aufgaben war den Experten klar, welcher Fokuspunkt ihnen zugeteilt gewesen ist.

Manipulationsebene – Nach Einschätzung der Experten ist die Navigation auf der Manipulationsebene mit direkter Interaktionstechnik sehr hilfreich. So wird das Interactive Tabletop als sinnvolles Eingabegerät im Leitwartenkontext gesehen. Dies zeigt sich während der Interviews in der Studie (Zitat: „Die Interaktion findet direkt am Straßenschild statt.“) und bei der Beantwortung der Fragebögen.

Die Probanden erachten die Touch-Interaktion im Leitwartenkontext als praktikables Eingabemedium mit $Md = 2$ ($M = 1.64$, $SD = 0.48$; von -2 *stimme überhaupt nicht zu* bis 2 *stimme völlig zu*) (siehe Abbildung 83a).

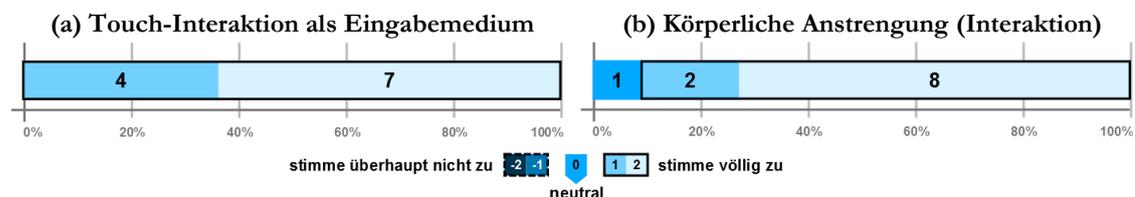


Abbildung 83 Bewertung der Touch-Interaktion und der körperlichen Anstrengung

Wie die Verteilung der Aussagen in Abbildung 83b verdeutlicht, stimmen die Experten mehrheitlich der Aussage zu, dass die Manipulation von Prozessvariablen mittels Interactive Tabletop wenig körperliche Anstrengung erfordert ($Md = 2$; $M = 1.64$, $SD = 0.64$).

So geben die Experten während des Interviews an, dass sie die Interaktion mit Touch-Gesten bei Panning gegenüber der Maus bevorzugen. Die Beobachtung zeigte, dass die Probanden ausschließlich entlang der Straßenverläufe navigieren. Das erfolgt sowohl in der *freien* als auch in der *inhalts-sensitiven Navigation*. Von einem Experten wird vorgeschlagen, die Geschwindigkeit während der Navigation adaptiv zu gestalten. Dabei soll sich die Geschwindigkeit anhand der für die Panbewegungen verwendeten Anzahl der Finger dynamisch anpassen.

Synchronisation der Arbeitsebenen – Die Auswertung der subjektiven Einschätzung in Bezug auf die Synchronisation des *Public Space* (Wanddisplay) und des *Private Space* (Interactive Tabletop) durch die Experten ergibt einen Wert von $Md = 2$ ($M = 1.55$, $SD = 0.50$; Skala von -2 *stimme überhaupt nicht zu* bis 2 *stimme völlig zu*). Abbildung 84 zeigt die positive Bewertung bezüglich der Synchronisation der Arbeitsebenen. So geben die Experten beispielsweise an: „*Ich finde, das ist eine sehr schöne Übersichts- und Detaillösung.*“

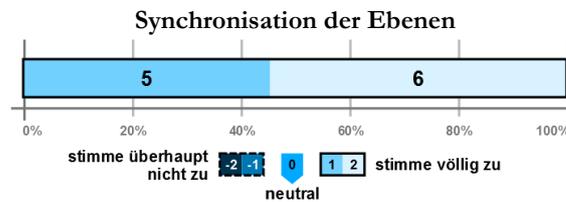


Abbildung 84 Bewertung der Synchronisation der Arbeitsebenen

In den Rückmeldungen während den Experteninterviews werden die Navigation mit dem *SpaceNavigator* sowie die Touch-Interaktion positiv bewertet. Im Rahmen der teilnehmenden Beobachtung lässt sich ein Verhaltensmuster über die Experten hinweg erkennen. Die Navigation auf der Überwachungs- und Diagnoseebene wird verwendet, um längere Strecken zurückzulegen, während dem Folgen eines Straßenverlaufs bei paralleler Manipulation von Prozessvariablen mit Panning navigiert wird (Zitat: „*Mit SpaceNavigator auf großem Wanddisplay schnell zur entsprechenden Stelle und dann mit Pannen fein justieren funktioniert sehr gut.*“).

Für das Herstellen einer direkten Beziehung der Ebenen ist von allem die Visualisierung von Bedeutung: „*Die Markierung der Position auf dem Wanddisplay gefällt mir gut, um zu sehen, welche Detailinformationen auf dem anderen Display angezeigt werden.*“

Darüber hinaus ist nach Aussagen der Experten die klare Zuordnung der Fokuspunkte der beiden Arbeitsebenen immer eindeutig. Somit ist davon auszugehen, dass sich die Anzahl der Blickwechsel zwischen den Arbeitsebenen minimiert. Dieser Effekt zeigt sich beispielsweise bei der Bearbeitung von Aufgaben, in denen mehrere Straßenschilder entlang der Strecken manipuliert werden mussten. Aussagen der Probanden während der Interaktion wie: „*Das Interpretieren der Detailinformationen finde ich einfacher als bei unserer geradlinigen Darstellung.*“ heben hervor, dass die mentale Verbindung zwischen der Übersicht und den Detailinformationen im Kontext erleichtert wird.

Im Folgenden werden die Ergebnisse, die in der zweiten Forschungsfrage (F2) avisiert werden, berichtet. Das Augenmerk liegt auf der Unterstützung der nonverbalen Koordination.

Vergleich der Multifokus-Views – Bei allen drei evaluierten Konzepten stimmen die Teilnehmer überein, dass die entwickelten Prozessvisualisierungen die nonverbale Kommunikation sowie das Situationsbewusstsein zwischen den Operatoren unterstützen und das kooperative und kollaborative Arbeiten verbessern. Während der Bearbeitung von operatorspezifischen Aufgaben sagt beispielsweise ein Teilnehmer: „*Es ist eindeutig erkennbar, wer hat wo gearbeitet. Jeder sieht vom anderen, wo er sich aufhält, in welchem Bereich. Wenn Störungen reinkommen, gibt's [...] die Möglichkeit zu entscheiden, nehme ich es oder nimmt es der andere für die Abarbeitung des Ganzen.*“

Indes ergibt sich bei der Analyse der erhobenen Daten mittels *SUS*-Fragebogens ein anderes Bild (siehe Abbildung 85).

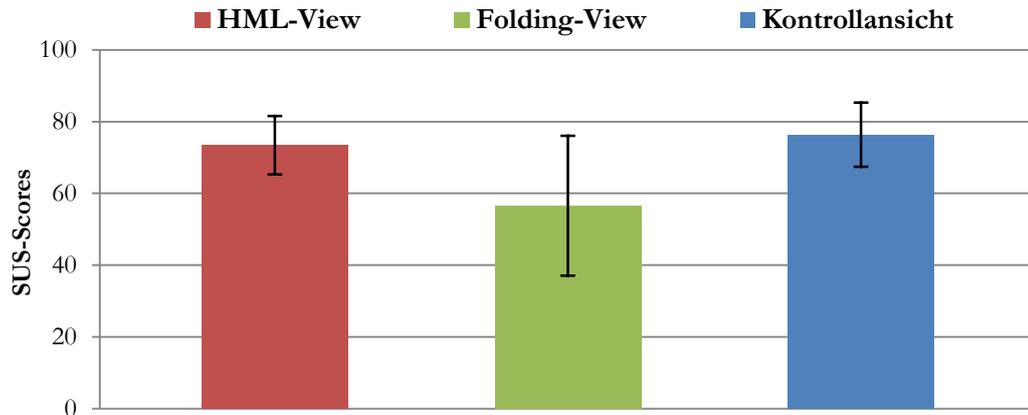


Abbildung 85 Auswertung des SUS-Scores

Die *Folding-View* erzielt einen *SUS-Score* von 56.59%, die *HML-View* einen Wert von 73.41% sowie die *Kontrollbedingung* ein ähnliches Rating von 76.36%. Die Überprüfung der *SUS-Scores* erfolgt anhand der an Bonferroni angepassten paarweisen Vergleiche. Bei den *SUS-Scores* zwischen der *Folding-View* sowie der *Kontrollansicht* zeigen sich signifikante Unterschiede ($t(10) = 3.35, p = .021$). Hingegen liegen bei der *Folding-View* und der *HML-View* ($t(10) = 2.09, p = .186$) sowie bei der *Kontrollbedingung* und der *HML-View* ($t(10) = 0.83, p = 1$) keine statistisch signifikanten Unterschiede vor.

Im Hinblick auf den Bewertungsmaßstab nach Bangor, Kortum und Miller (2009) ergibt sich für die *HML-View* und die *Kontrollansicht* ein *Gut* bis *Exzellente*, bei der *Folding-View* dagegen ein *OK* bis *Gut*. Die Standardabweichung der *SUS-Scores* ist innerhalb der *Folding-View* ($SD = 19.49$) deutlich höher als bei der *HML-View* ($SD = 8.14$) sowie in der *Kontrollansicht* ($SD = 8.94$). Das zeigt, dass die Experten ein heterogenes Meinungsbild bezüglich der *Folding-View* haben.

Anhand der Fragebögen zeigen sich deutliche Unterschiede in der Expertenbeurteilung (siehe Abbildung 86). Ob die Prozessvisualisierung einen nützlichen Überblick über das gesamte Straßennetz bietet, beantworten die Probanden bei der *HML-View* mit $Md = 1$ ($M = 0.72, SD = 0.62$; Skala von -2 *stimme überhaupt nicht zu* bis 2 *stimme völlig zu*) und bei der *Folding-View* $Md = -1$ ($M = -0.91, SD = 0.67$) sowie bei der *Kontrollansicht* mit $Md = 1$ ($M = 0.82, SD = 0.57$).

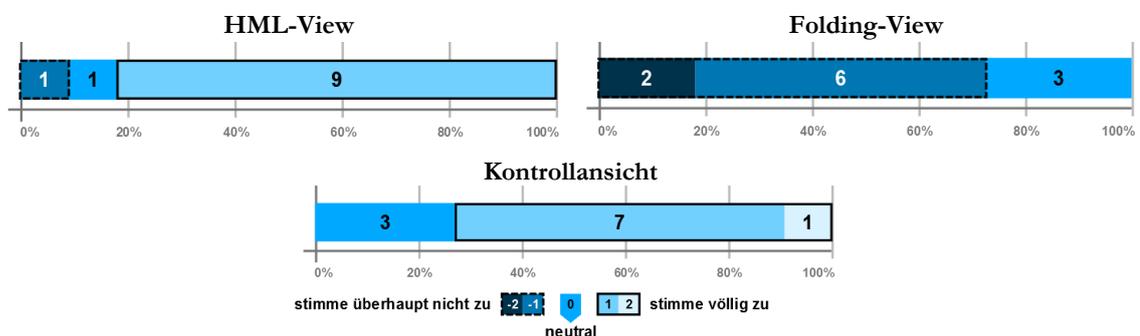


Abbildung 86 Bewertung des Überblicks im Informationsraum

Der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test bestätigt eine statistische Signifikanz der Unterschiede von *HML-View* und *Kontrollansicht* gegenüber der *Folding-View*. Diese Unterschiede ergeben sich sowohl zwischen *Folding-View* und *HML-View* ($Z = -2.87, p = .004$) als auch zwischen *Folding-View* und *Kontrollansicht* ($Z = -2.63, p = .008$).

Die subjektiven Antworten der Fragebögen zeigen bei der Bewertung zur Förderung der Orientierung im Überwachungsraum durch das Wanddisplay teilweise signifikante Unterschiede (siehe Abbildung 87).

Die *HML-View* wird mit $Md = 1$ ($M = 0.64$, $SD = 0.64$; Skala von -2 *stimme überhaupt nicht zu* bis 2 *stimme völlig zu*), die *Folding-View* mit $Md = -1$ ($M = -0.92$, $SD = 0.90$) und die *Kontrollansicht* mit $Md = 1$ ($M = 0.55$, $SD = 0.66$) bewertet.

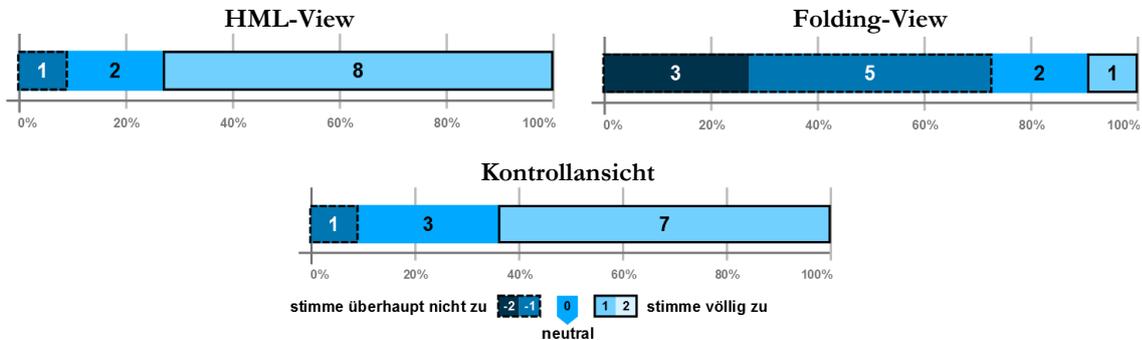


Abbildung 87 Bewertung der Orientierung im Informationsraum

Der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test weist einen signifikanten Unterschied für die *HML-View* und *Folding-View* ($Z = -2.60$, $p = .009$) sowie von *Folding-View* und *Kontrollansicht* ($Z = -2.24$, $p = .025$) auf.

Im Folgenden werden die mittleren Beanspruchungen des *NASA-TLX* berichtet. Abbildung 88 zeigt den *Overall Workload Score* der jeweiligen Visualisierungstechnik. Die *Folding-View* verzeichnet den höchsten Score mit ($M = 50.23$, $SD = 16.54$; Skala von 0 *keine* bis 100 *maximale Beanspruchung*). Dieser Wert zeigt, dass eine höhere Beanspruchung in der *Folding-View* wahrgenommen wird als bei den anderen Varianten (*HML-View* mit $M = 35.15$, $SD = 12.63$ und *Kontrollansicht* mit $M = 35.76$, $SD = 8.38$). Die Varianzanalyse weist keine signifikanten Unterschiede auf.

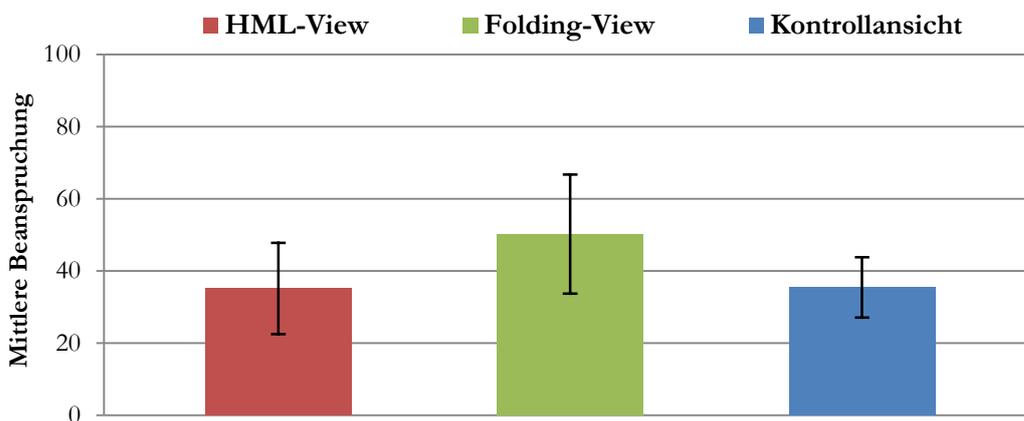


Abbildung 88 Auswertung des Overall Workload Score

Bei der Auswertung des erhobenen subjektiven Workload wird auf die Gewichtung der unterschiedlichen Subskalen verzichtet, was nach Byers, Bittner und Hill (1989) Ergebnisse vergleichbarer Qualität über die sechs Dimensionen hinweg liefert.

Abbildung 89 zeigt einen Überblick über die mittlere Beanspruchung innerhalb der sechs Subskalen, gegliedert nach *HML-View*, *Folding-View* und *Kontrollansicht*. Die Auswertung des *NASA-TLX* erfolgte anhand der an Bonferroni angepassten paarweisen Vergleiche.

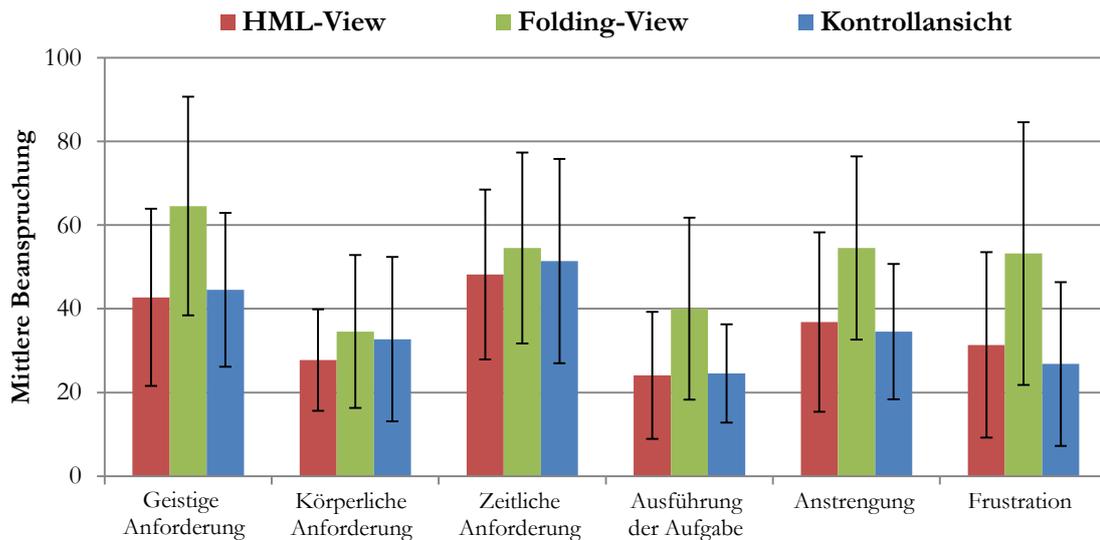


Abbildung 89 Auswertung der einzelnen Subskalen des NASA-TLX

In der *geistigen* Beanspruchung fühlen sich die Probanden bei der *Folding-View* ($M = 64.55$, $SD = 26.15$; Skala von 0 *keine* bis 100 *maximale Beanspruchung*) am meisten gefordert. So erfordert die *Folding-View* eine höhere *geistige* Beanspruchung als die *HML-View* ($M = 42.73$, $SD = 21.14$) oder die *Kontrollansicht* ($M = 44.55$, $SD = 18.41$). Die Analyse der Varianzen zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen *Folding-View* und *Kontrollansicht* ($t(10) = 2.94$, $p = .045$).

Im Hinblick auf die *körperliche Anforderung* sind die Probanden lediglich ca. zweieinhalb Stunden mit der Bearbeitung der Aufgaben konfrontiert, was keinem ganzen Arbeitstag eines Operators entspricht. Darüber hinaus werden die Aufgaben von den Experten im Stehen gelöst, wobei sich die ergonomischen Gesichtspunkte wie Neigung der Manipulationsebene auf die durchschnittlichen Werte im Mittel von $M = 31.66$ ($SD = 16.82$; Skala von 0 *keine* bis 100 *maximale Beanspruchung*) über alle Visualisierungsformen hinweg positiv auswirken. Der höchste durchschnittliche Wert wird mit $M = 34.55$ ($SD = 18.27$) in der *Folding-View* und der geringste mit der *HML-View* ($M = 27.73$, $SD = 12.13$) gemessen. Die *Kontrollansicht* liegt mit $M = 34.55$ ($SD = 18.27$) zwischen den Varianten. Die Varianzanalyse ergibt zwischen den unterschiedlichen Ansichten keinen statistisch signifikanten Unterschied.

Während der Bearbeitung der Aufgaben sind die Probanden keinem *zeitlichen* Druck ausgesetzt. Somit lassen sich im Hinblick auf die Effizienz der unterschiedlichen Konzepte keine klaren Tendenzen ableiten. Nach Einschätzung der Probanden schneiden alle drei Varianten im mittleren Wertebereich ($M = 51.36$, $SD = 22.71$; Skala von 0 *keine* bis 100 *maximale Beanspruchung*) ab. Im Durchschnitt wird sowohl in der *HML-View* ($M = 24.01$, $SD = 15.22$) als auch bei der *Kontrollansicht* ($M = 24.55$, $SD = 11.77$) der niedrigste Beanspruchungswert bei der *Aufgabenbewältigung* angegeben. Der deutlich höchste Wert, wie Abbildung 89 zeigt, wird in der *Folding-View* ($M = 40.00$, $SD = 21.74$) erreicht, wobei hierbei zu beachten ist, dass der angegebene Wert auch in der *Folding-View* im mittleren Skalenbereich anzuordnen ist. Das bedeutet vor allem für die *HML-View* und die *Kontrollbedingung* eine angemessene Unterstützung durch die Technologien bei der Aufgabenerfüllung. Die Varianzanalyse ergibt keinen statistisch signifikanten Unterschied.

Die Probanden geben an, dass bei der *Folding-View* ($M = 54.55$, $SD = 21.89$; Skala von 0 *keine* bis 100 *maximale Beanspruchung*) die *Anstrengung* am höchsten ist, um einen hohen Grad der Aufgabenerfüllung zu erreichen. Besser werden die *HML-View* ($M = 36.82$, $SD = 21.46$) sowie die *Kontrollansicht* ($M = 34.55$, $SD = 16.16$) bewertet. Die Varianzanalyse ergibt einen statistischen Signifikanzunterschied zwischen *Folding-View* sowie *Kontrollansicht* ($t(10) = 2.42$, $p = .000$).

Während der Aufgabenbearbeitung ist der *Frustrationsgrad* bei der *Kontrollansicht* ($M = 26.82$, $SD = 19.57$; Skala von 0 *keine* bis 100 *maximale Beanspruchung*) sowie in der *HML-View* ($M = 31.36$, $SD = 22.17$) geringer als in der *Folding-View* ($M = 53.18$, $SD = 31.35$). Die Ergebnisse zeigen eine relativ geringe *Frustration* bei der *HML-View* und *Kontrollansicht* sowie einen mittleren *Frustrationsgrad* bei der *Folding-View*. Zudem zeigt die Varianzanalyse einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der *Folding-View* und der *Kontrollansicht* ($t(10) = 5.09$, $p = .042$).

Zusammenfassend zeigt Tabelle 11 zum einen die mittlere Beanspruchung über alle drei Varianten der Visualisierung hinweg, und zum anderen werden alle Ergebnisse der Varianzanalyse berichtet. Die Varianzanalyse zeigt nur zwischen *Folding-View* und *Kontrollansicht* einen signifikanten Effekt auf.

Tabelle 11 ANOVA-Analyse der einzelnen Subskalen des NASA-TLX

Dimensionen			HML-View und Folding-View		HML-View und Kontrollansicht		Folding-View und Kontrollansicht	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>t</i> (10)	<i>p</i>	<i>t</i> (10)	<i>p</i>	<i>t</i> (10)	<i>p</i>
Geistige Anforderung	50.61	24.24	2.03	.210	0.28	1	2.94	.045
Körperliche Anforderung	31.67	16.81	1.29	.675	1.19	.867	0.30	1
Zeitliche Anforderung	51.36	22.71	0.86	1	0.38	1	0.29	1
Ausführung der Aufgabe	29.55	18.31	2.06	.201	0.10	1	0.40	.108
Anstrengung	41.97	21.91	1.59	.426	0.26	1	2.42	.000
Frustration	37.12	27.41	1.74	.339	0.42	1	5.09	.042

Über alle Auswertungen der *SUS*- und *NASA-TLX*-Fragebögen hinweg lässt sich ein eindeutiges Muster erkennen. Die *Folding-View* wird von den Experten im Gegensatz zu der *HML-View* und zur *Kontrollansicht*, die ähnlich beurteilt werden, schlechter bewertet. Die Standardabweichung bei der *Folding-View* ist wesentlich höher als bei den beiden anderen Varianten. Im paarweisen Vergleich der unterschiedlichen Konzepte zeigt sich bei der Bewertung ein etwas anderes Bild. Zwar bevorzugt mit sieben von elf die Mehrzahl der Teilnehmer die *HML-View* (63.6%), aber vier Probanden (36.4%) präferieren die *Folding-View*. Hingegen bevorzugt kein Proband die *Kontrollansicht*. Diese Ergebnisse sind wohl auf die höheren Standardabweichungen im Zusammenhang mit den Bewertungen der *Folding-View* zurückzuführen. Die Interviewergebnisse sowie die der teilnehmenden Beobachtung zeigen diesbezüglich ein klares Bild und werden im Folgenden vorgestellt.

Experteninterviews und teilnehmende Beobachtung – Die Probanden äußern sich bei der *HML-View* positiv bezüglich der semantischen Anreicherung der Überwachungs- und Diagnoseebene (Zitat: „*Sehr gut, ich kann mir jetzt Detailinformationen im Kontext anzeigen lassen.*“). Die *HML-View* schafft trotz der zusätzlich integrierten Detailinformationen einen guten Überblick, ohne dass dabei Informationen verdeckt werden (Zitat: „*Sehr gute Visualisierungsmöglichkeit, ich habe so immer noch die ganze Karte im Überblick.*“). Einige Experten äußern den Wunsch nach zusätzlichen Detailinformationen. Auch dass mit den gestalteten Visualisierungstechniken große Informationsräume abgedeckt werden können, was für den Einsatz im Leitwartenkontext essenziell ist, wird positiv bewertet: „*Das ist sehr gut. Durch die Ansicht kann wirklich ein sehr großer Bereich abgedeckt werden.*“ Jedoch wird in diesem Zusammenhang von mehreren Experten der Wunsch geäußert, die *HML-View* nur bei Bedarf darzustellen: „*Beim Verschieben des Fokuspunkts brauche ich die Linse nicht. Ich hätte gerne die Möglichkeit, an eine bestimmte Position zu fahren und erst dann die Linse zu aktivieren.*“ Ein großer Vorteil gegenüber heutigen

Lösungen in Leitzentralen besteht im reduzierten Blickwechsel bei der Aufgabenbearbeitung (Zitat: „*Ich schaue viel weniger nach unten, da ich mehr Informationen in der Linse habe.*“). So geben die Probanden an, dass der Blick nur für die Manipulation der Verkehrszeichen auf das Interactive Tabletop wechselt (Zitat: „*Ich muss jetzt viel weniger nach unten schauen, da kontextbezogene Informationen in der Linse angezeigt werden.*“). Gerade die Kombination aus *SpaceNavigator*, *inhaltssensitiver Navigation* und *HML* erleichtert die Interaktion auf dem entfernten Wanddisplay (Zitat: „*Die Linsen funktionieren gut in Kombination mit dem SpaceNavigator und der Navigation.*“). Verbesserungspotenziale sehen die Experten bei der Annäherung zweier *HML*, da der aktuell umgesetzte Algorithmus nur eine Überlagerung der Linsen unterstützt. Nach Aussagen der Teilnehmer müsste aber eine Verschmelzung der *HML* unterstützt werden. Weiterhin sollten die Konzepte die Möglichkeit bieten, dass die Detailinformationen auf der Überwachungs- und Diagnoseebene für die Operatoren personalisiert werden können, da nicht jeder Operator dieselbe Granularität der Informationen benötige. Außerdem geben die Experten an, dass ein zusätzlicher Mehrwert geschaffen werden könnte, wenn beispielsweise die Ausdehnung der Linse oder die Zoomstufen in der Fokusregion angepasst werden könnten.

Weniger eindeutig sind die getätigten Aussagen der Experten bei der Bewertung der *Folding-View*. Diese wird von den Probanden für die Erfüllung der Aufgabe eher kritisch betrachtet. Dennoch geben einige Teilnehmer an, dass die Technik eine gute Übersicht über den Informationsraum ermöglicht und gleichzeitig die Orientierung auf der Karte vereinfacht (Zitat: „*Die Orientierung auf der Karte ist kein Problem, die Richtungen bleiben ja erhalten.*“). Die Falten werden als hilfreiche Orientierung bewertet (Zitat: „*Die Falten schaffen ein gutes Verständnis für die Verzerrung.*“). Ferner wird die Größe der Ausdehnung in den Fokusregionen positiv bewertet. Positive Rückmeldung geben die Probanden auch für die sehr hochauflösende Fokusregion: „*Man hat mehr Informationen auf den ersten Blick, das gefällt mir gut.*“ Von einigen Experten wird eine zusätzliche Übersicht gefordert, die die absolute Position der Fokuspunkte in der Prozessübersicht nochmals veranschaulicht. Auffallend bei der Bewertung der *Folding-View* innerhalb der Fragebögen ist, dass hierbei die unterschiedlichen Expertisen in Bezug auf Kenntnisse des eingesetzten Straßennetzes (Raum München) ausschlaggebend sind. Das erklärt die hohen Standardabweichungen bei den Bewertungen der *Folding-View*. Auf Nachfrage bestätigen sich die Ergebnisse der Auswertung der Fragebögen, denn Probanden, die mit dem Straßennetz vertraut gewesen sind, haben keine Orientierungsprobleme. Hingegen tun sich jene Probanden, die im Berufsalltag mit anderen Regionen von Straßennetzen zu tun haben, bei der Orientierung schwerer (Zitat: „*Wenn man das Netz kennt, ist es kein Problem, die Stelle zu finden.*“). Einzelne Probanden sind durch die Kartenbewegung beim parallelen Verschieben der Fokusse irritiert (Zitat: „*Ich weiß nicht, ob sich gerade die Position des Fokuspunkts auf dem Display verändert, oder ob sich die Position des Fokuspunkts in Bezug auf die Prozessvisualisierung verschiebt.*“).

Die *Circles*, um Veränderungen in der Prozessdynamik zu visualisieren, werden von den Operatoren unterschiedlich beurteilt. Alle Experten nehmen die Veränderungen wahr, jedoch dauert es teilweise eine gewisse Zeit, bis die Experten auf die aktuelle Prozesssituation, z. B. Pannenfahrzeug auf Seitenstreifen, reagieren. Die Relevanz der *Circles* ist jedoch essenziell, da eine reine Anpassung der Visualisierung aufgrund von verändertem Verkehrsaufkommen (Farbwechsel der Fahrbahnen von grün auf rot) bei keinem der drei Visualisierungskonzepte während der Bearbeitung der Aufgaben wahrgenommen wird. Darüber hinaus geben die Experten an, dass sowohl die Größe von Informationsräumen als auch die Fülle der eingehenden Meldungen zur Folge hätten, dass die ganze Überwachungs- und Diagnoseebene durch das Blinken der *Circles* sehr unruhig erscheinen würde. Eine Fortführung der *Circles* sollte auch auf der Manipulationsebene vorgenommen werden: „*Hab mich gerade auf die Detailebene konzentriert, hier müsste man auch den Hinweis zusätzlich platzieren.*“ Einige der Experten äußern sich dahingehend, dass bereits eine eingehende Meldung in der Meldungsliste völlig ausreicht, um eine Aktion beim Operator auszulösen.

Die direkte kontextspezifische Integration von Kamerabildern im Straßenverlauf in der Überwachungs- und Diagnoseebene wird während der Interviews weitestgehend positiv bewertet. Gerade um sich schnell einen Überblick zu verschaffen, sind die Kamerabilder sehr nützlich: *„Meiner Meinung nach bieten die Kamerabilder im Kontext einen großen Mehrwert.“* oder *„Die Möglichkeit, die Strecke mit den Kameras abzufahren, ist gerade für sehr lange Strecken sinnvoll.“*

Weiterhin stimmen einige der Experten überein, dass gerade die *Details-on-Demand*-Anzeigestrategie ein unterstützendes Konzept ist, wenn zusätzliche Detailinformationen wie Kamerabilder benötigt werden. Diese können intuitiv jederzeit vom Operator eingeblendet werden: *„Es ist sehr gut, dass Kamerabilder bei Bedarf hinzugeschaltet werden können.“* Teilweise wird die Größe der Kamerabilder als zu klein bemängelt. Ferner sollte für zukünftige Konzepte die Integration einer Zoomfunktion bedacht werden: *„Die Kamerabilder sind zu klein. [...] Die Kamerabilder könnten vielleicht durch eine Interaktion vergrößert werden.“* Die Integration der Kamerabilder sollte jedoch nach Meinung der Experten nur als Ergänzung zu den bestehenden statischen Videobildschirmen auf der Überwachungs- und Diagnoseebene eingesetzt werden (Zitat: *„Die Kamerabilder gefallen mir gut, aber für die dauerhafte Betrachtung brauchen wir trotzdem zusätzliche Bildschirme.“*).

Das Konzept des Meldungsmanagements liefert bereits wertvolle Erkenntnisse für die Entwicklung von zukünftigen Arbeitsumgebungen. Den Aussagen nach fördert das Konzept implizite Kommunikation sowie das kooperative Arbeiten, obwohl die Meldungen zuerst im persönlichen Arbeitsbereich des Operators bearbeitet werden. Grund hierfür ist, dass zum einen die Liste von beiden Operatoren gut eingesehen werden und zum anderen die direkte Interaktion durch Verschiebung der Meldung in den persönlichen Arbeitsbereich erfolgen kann. Die Experten geben an, dass sie jetzt merken, wenn ein Kollege eine Meldung aus der Liste zu sich holt: *„Die Abarbeitung der Meldungsliste funktioniert sehr gut, man sieht sofort, was hat man gemacht beziehungsweise was macht der Kollege.“* Die vom System automatisierte Funktion, um direkt in den Kontext des Fehlers zu gelangen, wenn eine Meldung bearbeitet wird, wird von den Probanden teilweise als verwirrend angesehen. Die Probleme bei der Orientierung sind auf die automatische Auslösung der Navigation zurückzuführen, da sich der Fokuspunkt unvorbereitet an einer anderen Position im Straßennetz befindet. Folgendes ist während der teilnehmenden Beobachtung gesagt worden: *„Ich habe überhaupt nicht mitbekommen, dass die Sprungfunktion zum Problem ausgelöst wurde, hier erwarte ich mir Feedback.“* Eine aktive Auslösung durch den Operator könnte hierbei bereits Abhilfe schaffen. Diese müsste allerdings mit einer geführten Animation umgesetzt werden.

Im Rahmen der Abschlussdiskussion werden einige Optimierungspotenziale direkt von den Experten angesprochen: Ein Experte gibt an: *„Das [Meldungsliste mit der Digital-Pen & Paper-Technologie] könnte man jetzt auch kombinieren. Der Operator bekommt einen Anruf und schreibt sich das mit seinem digitalen Stift mit, hat das dann als Meldung im System und kann die bearbeiten.“* Ein weiterer Experte regt an, die Schichtübergabe zu optimieren: *„Die Meldungen [inklusive der Sprungfunktion zur Störung] könnten auch sehr gut für die Schichtübergabe genutzt werden. Man kann direkt mit dem Kollegen zu den Problemen springen.“* Ein weiterer Experte greift den Punkt auf, direkt aus den Daten einer E-Mail automatisch vom System zum Stau geführt zu werden: *„Wir bekommen die Staumeldungen über den Verkehrswarndienst per E-Mail rein und die könnte man auch auslesen, da ist die Ortsangabe hinterlegt. Dann kann man auch automatisch hinspringen.“*

5.1.8 Diskussion und Fazit

In den vorgestellten Interaktions- und Visualisierungskonzepten sehen die Experten hohes Potenzial, die Tätigkeit der Operatoren in den Verkehrsleitzentralen zu unterstützen. Jedoch zeigen sich in der Diskussion auch mögliche Optimierungen, die im Folgenden zusammenfassend berichtet werden.

Die Ergebnisse in Bezug auf die erste Forschungsfrage (F1) der *inhaltssensitiven Navigation* in Verbindung mit dem *SpaceNavigator*, die bereits in der Vorstudie mit Studenten evaluiert worden sind, werden in der Untersuchung mit Experten bestätigt. Im Gegensatz zu den heute vorherrschenden Technologien in den Leitwarten wie der mausbasierten Interaktion, die zur Steuerung der entfernten Wanddisplays eingesetzt werden, sehen die Experten etliche Vorteile der *inhaltssensitiven Navigation* kombiniert mit dem *SpaceNavigator*.

Die Experten geben nach einer kurzen Trainingsphase an, dass die geführte Navigation entlang der Straßen mittels *SpaceNavigator* essenziell erleichtert wird. Einige Experten melden eine zu langsame Navigationsgeschwindigkeit beim Zurücklegen von großen Distanzen zurück. Abhilfe würde hier in der *freien Navigation* eine adaptive Anpassung der Navigationsgeschwindigkeit schaffen, die sich je nach Kippausschlag des *SpaceNavigators* angleicht. Durch die Synchronisation der zwei Displayebenen zwischen *Private Space* und *Public Space* entfällt die wiederholte Auswahl des Kontexts zur Manipulation von Prozessvariablen. Die Verbindung der Arbeitsebenen hat hierbei den entscheidenden Vorteil, unnötige Blickwechsel sowohl zwischen den Arbeitsabläufen der Überwachung und Diagnose als auch der Manipulation zu minimieren. Die jeweiligen Stärken der Navigationstechnik werden von den Probanden sowohl auf der Überwachungs- und Diagnoseebene (*SpaceNavigator*) als auch auf der Manipulationsebene durch Panning eingesetzt. Alle Probanden äußern sich positiv bezüglich der Steuerung des entfernten Displays mittels des *SpaceNavigators*. Auch die direkte Touch-Bedienung auf der Manipulationsebene wird sehr positiv bewertet. Hier werden die Ergebnisse der Untersuchung vor Ort nochmals von den Aussagen der Experten aus den Leitzentralen bestätigt, denn die direkten manuellen Prozesseingriffe sind eher selten.

In Bezug auf die zweite Forschungsfrage (F2) wird *Folding-View* im Zusammenhang mit dem beschriebenen Einsatzszenario nicht als optimal bewertet. Es zeigt sich aber, dass Probanden, die sich im betreffenden Straßennetz besser auskennen, seltener Probleme mit dieser Visualisierungsform haben. Darüber hinaus werden alternative Einsatzmöglichkeiten gewünscht. Als Vorschlag wird eine statische Darstellung zur Beobachtung von mehreren kritischen Prozessabschnitten genannt. Die Probanden würdigen zudem in der *Folding-View* die sehr große Darstellung der Fokusregion. Die *HML-View* in Verbindung mit der Manipulationsebene wird in der Studie sehr positiv bewertet. Durch die Möglichkeit der Visualisierung des vollständigen Straßennetzes bei paralleler Detailbetrachtung kann die Problematik des Übersichts-Detail-Paradoxons in Leitwarten vermieden werden. Die Zusammenführung von Detailinformationen und deren Kontext verbessert die mentale Informationsverknüpfung. Nach der Expertenmeinung kann die nonverbale Koordination durch die Umsetzung mehrerer *HML* auf der Überwachungs- und Diagnoseebene reibungsloser erfolgen.

Der entscheidende Vorteil der *HML-* und *Folding-View* im Gegensatz zur *Kontrollansicht* ist darin begründet, dass sie weniger Blickwechsel bei den Tätigkeiten auf der Überwachungs- sowie Manipulationsebene erfordern. Gerade dieser ständige Blickwechsel bei der *Kontrollbedingung* hat negative Effekte in Bezug auf die Orientierung. Keiner der Experten präferiert die *Kontrollansicht*, und das, obwohl im direkten Vergleich die Beurteilung der *Folding-View* in der subjektiven Einschätzung schlechter ausfällt. Nach der Analyse der Daten kann das unterschiedliche Meinungsbild bezüglich der *Folding-View* als präferierte Darstellungsform (36.4%) so erklärt werden, dass es deutlich unterschiedliches Vorwissen im eingesetzten Überwachungsraum gibt. Bei den subjektiven Einschätzungen können keine signifikanten Unterschiede zwischen der *HML-View* und der *Kontrollansicht* in Bezug auf Übersichtlichkeit sowie mentale Beanspruchung identifiziert werden. Daraus lässt sich schließen, dass die Verzerrungseffekte innerhalb der *HML-View* von den Probanden nicht als zusätzliche mentale Belastung angesehen werden. Jedoch bietet die Form der Visualisierung nach Experteneinschätzung entscheidende Vorteile, z. B. den geringeren Blickwechsel zwischen den Arbeitsebenen und die bessere Orientierung im Informationsraum. Darüber hinaus äußern Experten, dass eine Personalisierung grundsätzlich möglich sein sollte. Nach den Aussagen der Experten

bietet gerade die *HML-View* mit ihren Fokuspunkten das größte Potenzial, da sie die Kollegen nicht beeinflusst. So könnten diverse Parameter des Konzepts wie die Skalierung und Größe der entsprechenden *HML* personalisiert, d. h. individuell angepasst werden.

Das beobachtete Verhalten der Teilnehmer in Bezug auf die *Circles*, liefert erste Erkenntnisse, um die zweite Forschungsfrage (*F2*) zu beantworten. Die Experten geben an, dass ohne die entsprechende Visualisierungsform eine Abweichung vom normalen Betriebszustand nicht kenntlich gewesen wäre. Das *Circles*-Konzept offenbart allerdings Schwachstellen, da erst nach einiger Zeit Störungen im Prozess erkannt werden, was im realen Konzept erhebliche Auswirkungen auf Mensch und Umwelt haben würde. Eine Visualisierung der Ereignisse auf der Manipulationsebene würde zu einer verbesserten Wahrnehmung führen. Darüber hinaus kann eine große Anzahl an Störungsmeldungen, die im Prozessbild angezeigt werden, zu einer Informationsüberflutung (*Information Overload*) führen. So müssen, basierend auf der Literatur und diesem ersten Ansatz, weitere Forschungsaktivitäten folgen, um Operatoren auf anormale Betriebszustände in Übersichtsdarstellungen aufmerksam zu machen. Hierbei verfolgen einige Ansätze nach Elzer und Beuthel (1998) oder Pramsohler, Pantförder und Vogel-Heuser (2010), die in Abschnitt 5.2.2 vorgestellt werden, das Ziel, dreidimensionale Säulen in das Übersichtsbild zu integrieren.

Die Kamerabilder in den direkten Kontext auf der Überwachungs- und Diagnoseebene integriert, bieten den Operatoren die Möglichkeit, einen schnellen Überblick über den aktuellen Prozesszustand zu erhalten. Im vorgestellten Konzept werden beispielhafte Kamerabilder für die Verkehrsüberwachung integriert, so dass die Teilnehmer die Möglichkeit haben, zusätzlich die Situation auf den Fahrbahnen analysieren zu können. Gerade in der Verkehrsleitzentrale sind Kamerabilder essenziell für die Überwachung und Diagnose, da nicht alle Streckenabschnitte mit Sensorik überwachbar sind. Nach Meinung der Experten sollte weiterhin die Möglichkeit bestehen, einzelne Kamerabilder dauerhaft auf separaten Bildschirmen anzuzeigen, um neuralgische Knotenpunkte im Blick zu haben. Die Selektion der Kamerabilder auf dem separaten Bildschirm kann dabei mit der vorgestellten *inhalts sensitiven Navigation* erfolgen.

Das Konzept der Meldungsliste liefert erste potenzielle Ansätze, um die nonverbale Koordination bei der Bearbeitung von Störungen zu unterstützen. Das vorgestellte Konzept wird darüber hinaus auch in Bezug auf die direkte Verortung der Meldungen positiv bewertet. Durch die Verbindung von Meldung und Fokus wird für die Operatoren in der gemeinsamen Arbeitsumgebung klar ersichtlich, welcher Kollege die Fehlermeldung abarbeitet. Zusätzlich unterstützt der *SpaceNavigator* die *visuelle Affordance* (Underkoffler & Ishii, 1999). Allerdings ist bei der Bewertung zu beachten, dass nur ein Display für die Manipulationsebene eingesetzt worden ist. So arbeiten die Experten auf nur einem gemeinsamen Display. Somit gilt es, in weiteren Forschungsarbeiten zu prüfen, ob die Vorteile auch auf den Einsatz von jeweils eigenständigen Manipulationsebenen übertragen werden können. Hierbei wirkt sich sicherlich die Farbcodierung der einzelnen Meldungen zum jeweiligen Fokus positiv auf die eindeutige Zuordnung aus. Die Experten geben an, dass die eingehenden Meldungen in der Verkehrsleitzentrale meist einer Stelle im Prozessbild zuzuordnen sind. Diese wichtigen Kontextinformationen werden heute in den Arbeitsabläufen unzureichend genutzt.

Die vorgestellten Konzepte zur Unterstützung der nonverbalen Abstimmung zwischen den Operatoren und den Arbeitsabläufen zeigen gegenüber den heute eingesetzten Konzepten große Potenziale auf. Denn die nonverbale Koordination wird in Anlehnung an die früheren Leitwarten der analogen Prozessführung gefördert. Die Experten sind sich einig, dass sie stets gewusst haben, wo sich der Kollege im Prozessgeschehen aufhält. Somit bilden die Konzepte eine gute Ausgangsbasis, um in weiteren Forschungsarbeiten vertieft zu werden.

5.2 Design Case II: Private Space

In aktuellen Leitwarten werden in der direkten Arbeitsumgebung (*Private Space*) des Operators mehrere Bildschirme eingesetzt, um die verschiedenen Ansichten auf den Informationsraum darzustellen. Hierbei handelt es sich meist um ein Overview+Detail-Entwurfsmuster, das auf einem Übersichtsbild Abschnitte des aktuellen Prozesses und auf mehreren Bildschirmen die dazu gehörigen Detailansichten darstellt. Dabei kann der Operator innerhalb der verteilten Ansichten interagieren und sich Detailinformationen zu beliebigen Prozessausschnitten anzeigen lassen.

Im vorherigen *Design Case I* hat das Augenmerk der Untersuchung auf dem *Public Space* gelegen. Um auch für den *Private Space* Einschätzungen von Experten zu erhalten, ist hier ebenso ein entsprechendes Konzept umgesetzt worden. Aufbauend auf den ersten Erkenntnissen zu Visualisierungen von Fokus- und Kontextinformationen, soll die Grundidee auch auf den *Private Space* übertragen werden. Dabei wird ein interaktives Display eingesetzt, das horizontal und vertikal orientierte Anzeigeflächen vereinigt (siehe Abbildung 90).

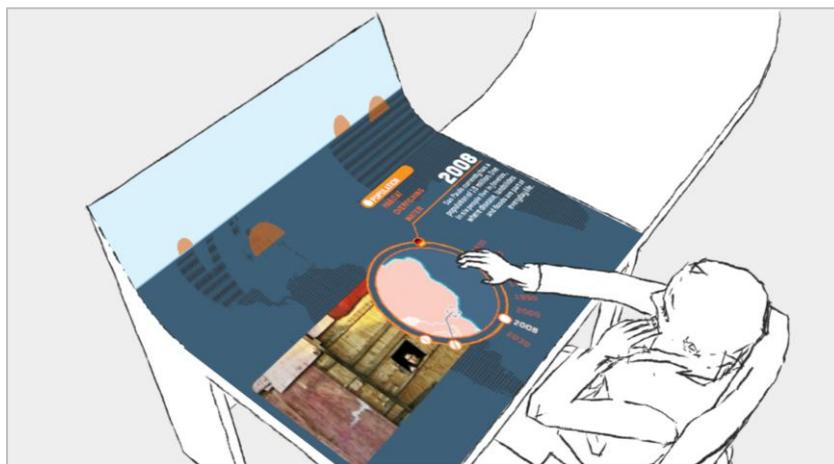


Abbildung 90 Konzept für die Überwachung und Diagnose im Private Space

Space:	Private
Primärtätigkeit:	Überwachung und Diagnose
Domäne:	Verkehrsüberwachung (U-Bahnnetzplan)
Aufbau:	Curve (Interactive Tabletop) von Wimmer et al. (2010)
Arbeitsebene:	Vertikal und horizontal

Die Experten geben im Rahmen der Evaluation in *Design Case I* an, dass die Übersichts- und Kontextinformationen auch am direkten Arbeitsplatz des Operators angezeigt werden müssen, um einer geteilten Aufmerksamkeit entgegenzuwirken. Denn gerade bei der automatisch ausgeführten Animation bei der Bearbeitung von Meldungen ist es den Experten schwergefallen, die Orientierung zu behalten, wenn der Blick auf das große Wanddisplay gerichtet ist. Zwar sieht das vorherige Konzept eine Synchronisation der Displayebene (*Public Space* und *Private Space*) vor, jedoch muss der Blick zur Orientierung trotzdem hin und her wandern, was gerade bei Navigationsaufgaben störende Auswirkungen im Sinne einer Bewusstseinsbildung (*Situation Awareness*) haben kann. Auch die wichtige Kennzeichnung von Meldungen im Übersichtsbild durch *Circles* sollte nach Aussagen der Experten zusätzlich auf das Display in der direkten Arbeitsumgebung aufgenommen werden, da die Abweichungen beim Blick auf den *Private Space* zu spät von den Experten erkannt worden sind.

Im folgenden Abschnitt wird das Ziel verfolgt, ein klassisches Overview+Detail-Entwurfsmuster, das gewöhnlich auf zwei voneinander getrennten Displays umgesetzt wird, auf eine vertikal gebogene Displayfläche zu übertragen. Dem Operator sollen die voneinander abhängigen Prozessinformationen zusammenhängend dargestellt werden.

Teile dieses Abschnitts sind bereits veröffentlicht worden in:

Schwarz, Tobias; Hennecke, Fabian; Lauber, Felix; Reiterer, Harald: Perspective+Detail – a visualization technique for vertically curved displays. In *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interface – AVI '12*, Capri Island (Italy), ACM Press, P. 485-488, May 2012.

Jetter, Hans-Christian; Geyer, Florian; *Schwarz, Tobias*; Reiterer, Harald: Blended Interaction – Toward a Framework for the Design of Interactive Spaces. In *Workshop Designing Collaborative Interactive Spaces (DCIS), International Working Conference on Advanced Visual Interfaces – AVI '12*, Capri Island (Italy), May 2012.

Bei der Bearbeitung des *Design Case* ist der Autor von einem Diplomanden der Siemens AG in Kooperation mit der Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) München unterstützt worden. Die Diplomarbeit ist zusätzlich von Fabian Hennecke (wissenschaftlicher Mitarbeiter) der LMU München betreut worden. Der Autor ist für den ganzheitlichen Forschungskontext verantwortlich, und zwar Anforderungen, Interaktions- und Visualisierungskonzept sowie Durchführung der experimentellen Benutzerstudie im Labor. Felix Lauber hat im Rahmen seiner Diplomarbeit (Lauber, 2011) bei der Gestaltung und Ausarbeitung des Interaktions- und Visualisierungskonzepts, der Implementierung sowie bei der Organisation, Durchführung und Auswertung der experimentellen Benutzerstudie mitgewirkt.

5.2.1 Motivation

Wie die Ergebnisse in der Analyse vor Ort (siehe Abschnitt 3.2.3) zeigen, werden neben der Prozessvisualisierung auf mindestens einem separaten Bildschirm prozessbezogene Meldungen eingeblendet, die dem Operator entsprechende Störungen und Fehlfunktionen mitteilen. Maßgeblich für eine effiziente Prozessführung ist, dass der Operator auf wichtige eingehende Meldungen schnellstmöglich reagieren kann. Das Meldungsmanagement entspricht einem Overview+Detail-Konzept, da der Meldungsbildschirm dem Prinzip einer globalen Meldungsanzeige entspricht. Es gibt neben einfachen Meldungsarten, die nur einen Punkt im Informationsraum betreffen, auch komplexe Ereignisse, die zueinander in Beziehung stehen. Entsprechend zur Interaktion auf dem Wanddisplay, muss auch die Interaktion auf dem Display direkt am Arbeitsplatz die Möglichkeit zur schnellen Navigation gewähren, um sich so nach Bedarf entsprechende Detailinformationen anzeigen zu lassen. In heutigen Leitwarten ist es für den Operator schwierig, auf den unzähligen Bildschirmen die relevanten Informationen zusammenzutragen, um während der Diagnosetätigkeiten die Ursache eines anormalen Betriebszustands zu analysieren. Gerade im Kontext von sicherheitskritischen Systemen müssen sich die Operatoren schnellstmöglich ein Lagebild des aktuellen Prozesses ableiten, um Veränderungen sofort entgegenwirken zu können.

Die Tätigkeiten der Überwachung und Diagnose, die derzeit auf unterschiedlichen Ansichten erfolgen, sollen für den Operator deutlich homogener gestaltet werden, um die Orientierung zu fördern. Maßgeblich für ein nutzerzentriertes Konzept ist eine nahtlose Zusammenführung der unterschiedlichen Übersichts- und Detailinformationen. Nach einer Untersuchung von Rønne Jakobsen und Hornbæk (2011) ist eine Vergrößerung der Displayfläche nicht zielführend, um die Arbeit mit Overview+Detail-Anwendungen zu entlasten. Wenn eine Veränderung der Größe der Ansichten keinen Erfolg für die bessere Anwendbarkeit verspricht, kann eine veränderte Form zu einer Verbesserung führen. Um dem Übersichts-Detail-Paradoxon entgegenzuwirken, soll zur Unterstützung der Überwachungs- und Diagnosetätigkeiten für den *Private Space* ein vertikal gebogenes Display mit interaktiver Oberfläche eingesetzt werden. Dabei sollen die zugrundeliegenden Vorteile des gebogenen Displays in Verbindung mit dem Overview+Detail-Entwurfsmuster zusammengeführt werden. Die Konzeptidee soll die Vielzahl der Displays im *Private Space* des Operators minimieren und

auch ein flexibleres und effizienteres Arbeiten mit den verschiedenen Ansichten unterstützen. Aus diesem Grund soll der Frage nachgegangen werden:

(F1) *Wie können unter Verwendung eines Overview+Detail-Entwurfsmusters die horizontalen und vertikalen Displaybereiche nicht nur physisch, sondern auch semantisch nahtlos zusammengeführt werden?*

Bezogen auf die Ebenen der *Blended Interaction* liegt das Hauptaugenmerk der Gestaltung sowohl auf der persönlichen Interaktion als auch auf der physischen Arbeitsumgebung (siehe Tabelle 12). Dabei soll vor allem die Architektur der Ein- und Ausgabemedien optimal an die Bearbeitung der Aufgaben angepasst werden.

Tabelle 12 Unterstützung der Gestaltungsebenen in Design Case II

		 Hauptfokus	 Fokus	 Berücksichtigt
	Persönliche Interaktion			Workflow
	Soziale Interaktion			Physische Arbeitsumgebung

Um die Forschungsfrage zu beantworten, wird ein Interaktions- und Visualisierungskonzept im Kontext der Überwachung eines U-Bahnnetzplans für die Manipulationsebene entwickelt. Durch den Einsatz eines gebogenen Displays soll die inhaltliche und geografische Lücke zwischen dem Anzeigebereich der Übersicht und der Detailansicht geschlossen werden. Die Ergebnisse einer experimentellen Nutzerstudie werden abschließend berichtet und diskutiert.

5.2.2 Grundlagen – Verbindung von Anzeigeflächen und Visualisierungen

Dieser Abschnitt stellt zunächst die wesentlichen Grundlagen vor, indem die Projekte in Betracht gezogen werden, die horizontale und vertikale Anzeigeflächen mit Hilfe von *Haptik* und *Visuellem* zusammenführen. Anschließend werden Visualisierungstechniken vorgestellt, die jeweils Vorteile aus *zwei-* und *dreidimensionalen* Ansichten nutzen, um einen besseren Überblick zu verschaffen oder zusätzliche Informationen darzustellen.

Vertikal gebogene interaktive Displays

Tognazzini stellt im Jahr 1994 ein Konzeptvideo mit dem Titel *Starfire* vor, das mit Spezialeffekten den Grundgedanken eines horizontal und auch vertikal gebogenen Displays widerspiegelt. Dieser Ansatz dient den Konzepten *Curve* (Wimmer & Schulz, 2009; Wimmer et al., 2010) und *BendDesk* (Weiss et al., 2010) als Grundlage für eine Kombination aus horizontaler und vertikaler Anzeigefläche. Beide Ansätze stellen eine Arbeitsumgebung dar, in der eine interaktive Tischoberfläche mit einem vertikalen Display nahtlos verbunden wird (siehe Abbildung 91a).

Auf der Basis von Erkenntnissen einer Untersuchung von Wimmer und Schulz (2009) zur ergonomischen Gestaltung von Arbeitsumgebungen sind die Parameter (Neigungswinkel, Höhe, Breite und Kurvenradius) für die Entwicklung des *Curve* abgeleitet worden. Das horizontale Display ist so ausgelegt, dass es im Winkel von 15° nach hinten gebogen ist. Das lässt eine entspannte Armhaltung zu, da die Gewichtsverteilung zwischen Displayoberfläche und Nutzer angepasst wird. Um die Kommunikation über unterschiedliche Nutzer hinweg nicht zu beeinträchtigen, wird die Höhe der vertikalen Anzeigefläche so gewählt, dass über ihren Rand zu sehen ist. Dieser Aspekt ist für den Einsatz in Leitwarten essenziell. Für das horizontale Display wird, um jede Region der Anzeigefläche per Hand (auch im vertikalen Segment) komfortabel zu erreichen und genügend Ablagefläche für die Arme zu bieten (Entlastung der Muskulatur), eine Tiefe mit 35 cm umgesetzt. Im Rahmen einer Studie von Wimmer und Schulz (2009) können bezüglich der Kurvenradien, die mit einer

Länge von 10 cm und 15 cm getestet worden sind, keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Die Tendenz geht jedoch in Richtung der Radien mit 10 cm. Das bestätigt auch eine Untersuchung, die mit dem *BendDesk* durchgeführt worden ist (Weiss et al., 2010). Als Begründung geben Weiss et al. (2010) an, dass diese Lösung den besten Mittelweg zwischen möglichst großen Displayflächen und Interaktion zwischen den Anzeigeflächen bietet. Maßgeblich für Wimmer et al. (2010) ist die Kontinuität während der Interaktion mit der vertikal gebogenen Fläche. In Bezug auf die Durchgängigkeit bei der Ausführung der Interaktion kann, wie Abbildung 91b zeigt, zwischen visuell, haptisch und mental unterschieden werden.

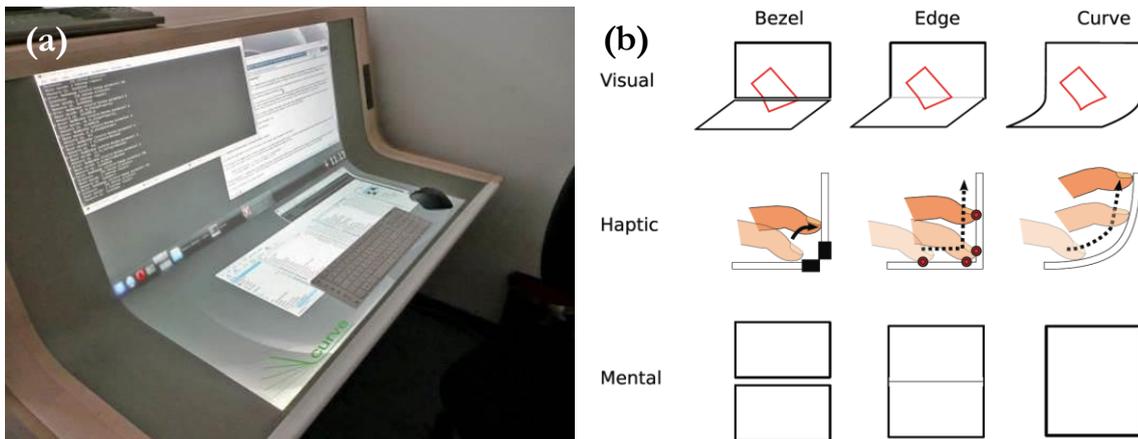


Abbildung 91 Vertikal gebogenes Interactive Tabletop und Displayübergänge

(a) Curve-Display von Wimmer et al., 2010; (b) Unterschiedliche Möglichkeiten zur Verbindung der horizontalen und vertikalen Displaysegmente (Wimmer et al., 2010)

So lässt sich je nach Bauform die Kontinuität in der Visualisierung (visuelle Kontinuität), der Bedienweise (haptische Kontinuität) sowie der Wahrnehmung (mentale Kontinuität) ableiten. Nach Bi, Bae und Balakrishnan (2010) haben Rahmen zwischen angrenzenden Displays negative Auswirkungen auf die visuelle Wahrnehmung und Interaktion. Die visuelle Kontinuität wird selbst bei schmalen Kanten unterbrochen. So kann in den Konzepten *Curve* und *BendDesk* mit kontinuierlichem Kurvenbereich die Prozessvisualisierung bedeutend durchgängiger dargestellt werden. Deutliche Auswirkungen hat die Bauart auf die Interaktion zwischen den horizontalen und vertikalen Bereichen auf Interactive Tabletops. Denn hierbei muss entweder der Finger oder die kontinuierliche Bewegung im Kurvenbereich unterbrochen werden.

Nach Mackinlay und Heer (2004) sollen zusammengehörige Objekte auf demselben Bildschirm in einer Multi-Display-Umgebung angezeigt werden, um den störenden Eigenschaften von Displayrahmen entgegenzuwirken. Ebenso wird die Erstellung eines mentalen Bilds durch Rahmen oder Kanten zwischen den Displays beeinträchtigt, denn durch die visuellen und auch physischen Eindrücke werden die Darstellungen getrennt wahrgenommen.

Das Hauptaugenmerk der Gestaltung von *BendDesk* liegt darauf, dass die mentale Kontinuität zwischen den unterschiedlich ausgerichteten Displayflächen verbessert wird. Hierbei beziehen sich Weiss et al. (2010) auf die *Gestalt Theory of Visual Perception*, die von der *Theory of Gestalt* abgeleitet worden ist. Um die visuelle Wahrnehmung von Informationen für den Nutzer zu verbessern, werden entsprechende Schlüsselreize gesetzt. Im Gestaltungsgesetz ist die Abgeschlossenheit als Schlüsselreiz verankert. Der Mensch versucht, unterbrochene Formen mental zusammenzuführen (Chang, Dooley & Tuovinen, 2002). Genau diesen Aspekt greifen Weiss et al. (2010) auf, um durch die Verbindung von horizontaler und vertikaler Anzeigefläche den Menschen mental zu entlasten.

Ein weiteres Gestaltungsgesetz, das berücksichtigt worden ist, ist das *Gesetz der Nähe*³⁰. Objekte im Informationsraum, die logisch zusammengehören, sollten auch im Sinne der räumlichen Distanz nahe zueinander positioniert werden (Chang et al., 2002).

Gebogene Displays zeigen große Potenziale für den Einsatz in der Arbeitsumgebung von Leitwarten auf. Eine direkte Verbindung birgt nicht nur den Vorteil einer visuellen, haptischen und mentalen Zusammenführung der Displaybereiche, sondern auch einen größeren Darstellungsraum als traditionelle Displays.

Informationsvisualisierung

Die Darstellung von Detailinformationen kann in drei Gruppen gegliedert werden (siehe Abschnitt 5.1.2), und zwar in Darstellungen, die eine *zeitliche* oder *räumliche* Trennung zwischen Detail- und Kontextinformationen beinhalten, und solche, die Detailinformationen *kontextspezifisch* integrieren. Neben diesen Visualisierungen gibt es zweidimensionale Darstellungen von Informationen, die die Darstellungen um dreidimensionale Ansichten erweitern.

Die Visualisierungen *Bird's Eye-View* (Lorenz, Trapp, Jobst & Döllner, 2008) und *Augmented Windshield* (Kim & Dey, 2009) kombinieren die Vorteile aus zwei- und dreidimensionalen Ansichten. Im Visualisierungskonzept der *Bird's Eye-View* werden herkömmliche zweidimensionale Kartendarstellungen um dreidimensionale Darstellungen erweitert. Durch eine multiperspektivische Ansicht (Vogelperspektive) wird der Informationsraum gestreckt. Dabei werden die geografischen Daten im Mittelteil der Ansicht um einen virtuellen Rand gebogen (siehe Abbildung 92a).

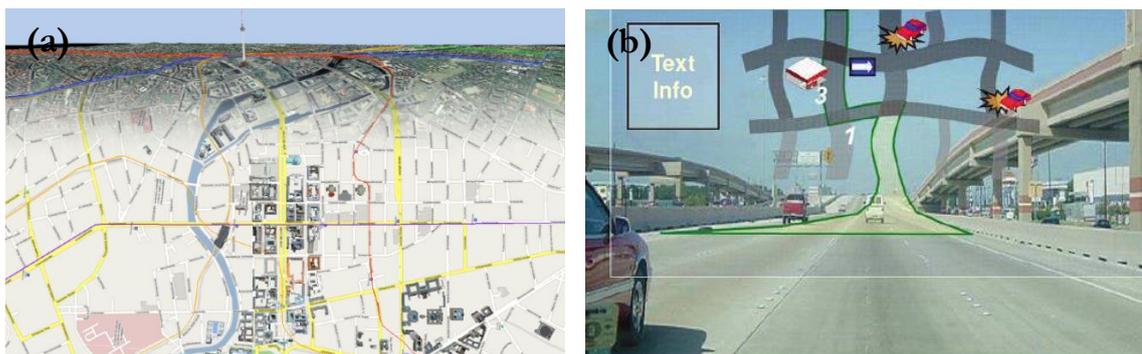


Abbildung 92 Bird's Eye-View und Augmented Windshield-Display

(a) Die Grafik zeigt die multiperspektivische Darstellung aus der Vogelperspektive (Lorenz, 2011). (b) Informationen werden virtuell auf die Frontscheibe projiziert. Fahrzeuge in der Karte markieren aktuelle Unfall- bzw. Pannenfahrzeuge (Kim & Dey, 2009).

Als Basis für das Konzept sind sog. Berann-Panoramakarten herangezogen worden, da hierbei der Himmel bzw. Horizont wenig Platz in der Ansicht einnehmen (Lorenz et al., 2008). Die Vogelperspektive schafft einen Überblick über den Informationsraum. Dem Nutzer wird ermöglicht, Informationen mit Hilfe von zwei verschiedenen Blickwinkeln gleichzeitig (zweidimensionale geografische Karte und dreidimensionale Höheninformationen) zu betrachten. Die deutlich sichtbaren Verzerrungen in der *Bird's Eye-View* können die Wahrnehmung des Nutzers negativ beeinflussen.

Nach Hancock, Nacenta, Gutwin und Carpendale (2009) ist für die korrekte Wahrnehmung von dreidimensionalen Visualisierungen auf einem horizontalen Display die richtige Kopfposition entscheidend, um perspektivisch bedingte Anzeigefehler zu reduzieren.

³⁰ Objekte, die räumlich nahe zusammenliegen, werden vom Menschen gruppiert. Objekte, die räumlich auseinanderliegen, werden getrennt voneinander wahrgenommen.

Ein weiterer Ansatz besteht in der Integration virtueller Übersichtskarten durch *Augmented Reality* in die reale Welt. Das kann beispielsweise mit Head-Up-Displays umgesetzt werden, wie in der Automobil- oder Luftfahrtbranche. Im Konzept *Augmented Windshield-Display* von Kim und Dey (2009) wird eine Übersichtskarte der Umgebungsstraßen auf die Frontscheibe des Fahrzeugs projiziert. Ziel des Ansatzes ist es, die kognitive Belastung für den Fahrzeugführer zu reduzieren. Wie in Abbildung 92b dargestellt, wird die Übersichtskarte im oberen Bereich der Frontscheibe so platziert, dass sie in gebogener Form mit dem realen Straßenverlauf verschmilzt. Somit wird für den Fahrer die reale Straße virtuell erweitert, indem sie nahtlos in eine eingeblendete Routenansicht übergeht.

Im Bereich der Energieverteilung stellen Klump et al. (2002) ein Konzept vor, in dem an markanten Punkten Säulendiagramme in dreidimensionaler Form verortet sind, die zusätzliche Informationen auf einer geografischen Karte bereitstellen. Wie Abbildung 93a verdeutlicht, werden die integrierten Säulen, die aus der Karte herausragen, farblich codiert. Das Konzept, Balkendiagramme in Form von dreidimensionalen Visualisierungen dazustellen, wird auch von Pramsöhler et al. (2010) verfolgt. Der Ansatz basiert auf der Annahme, dass zweidimensionale Diagramme bei Überwachungstätigkeiten leicht aus dem Fokus geraten können. Um dem entgegenzuwirken und damit den Bezug zwischen Übersichtsbild und Detailinformationen hervorzuheben, werden die Diagramme in der dreidimensionalen Darstellung direkt an den Knotenpunkten platziert (siehe Abbildung 93b). Erweitert wird das Konzept durch einen Slider, mit dessen Hilfe der Operator in der zeitlichen Dimension navigieren kann, um beispielsweise kritische Daten zu analysieren. Durch diese Funktion können sowohl Informationen visualisiert werden, die zu einer bestimmten Zeit aufgezeichnet worden sind, als auch Daten, die eine Zeitspanne umfassen.

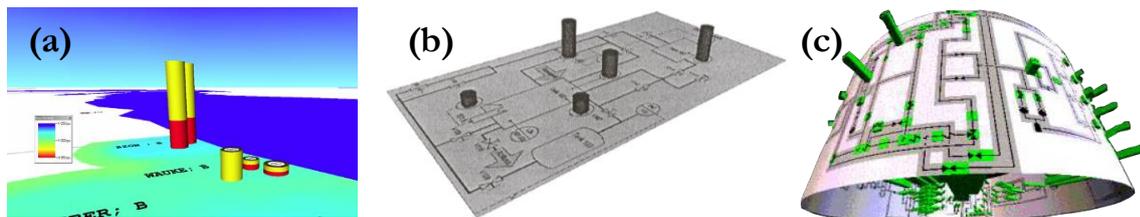


Abbildung 93 Darstellung von dreidimensionalen Diagrammen im Leitwartenkontext

(a) Integration von farblich codierten dreidimensionalen Säulen (Klump et al., 2002);
 (b) Dreidimensionale Säulen im Anlagenplan (Pramsöhler et al., 2010); (c) Abstrakte dreidimensionale Darstellung einer Benutzungsschnittstelle für die Überwachung eines Kohlekraftwerks (Elzer & Beuthel, 1998)

Im Ansatz von Elzer und Beuthel (1998) werden perzeptiv orientierte dreidimensionale Visualisierungen auf das Prozessbild projiziert (siehe Abbildung 93c). Auf Basis von mathematischen Volumenmodellen wird eine Benutzungsschnittstelle für Kohlekraftwerke gestaltet. Dabei werden die Detailinformationen in Form von dreidimensionalen Säulen, die aus der Ebene herausragen, gezeigt. Die dreidimensionale Darstellung birgt den Vorteil, dass auf der Fläche mehrere Informationen dargestellt werden können, um Prozesszusammenhänge zu veranschaulichen. In einer Studie von Elzer und Beuthel (1998) wird das sehr schnelle Erkennen von Fehlern in der Anlage belegt. Hierbei schneiden die dreidimensionalen im Gegensatz zu traditionellen zweidimensionalen Prozessvisualisierungen besser ab.

Darüber hinaus gibt es Forschungsarbeiten, die sich speziell mit dem Meldungsmanagement befassen, z. B. mit Modellierung und Visualisierungen von Alarmmeldungen. Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt nicht auf der Ausarbeitung einer spezifischen Alarmvisualisierung, sondern lediglich auf der Integration des Meldungsmanagements in den Kontext des Prozesses. Aus diesem Grund wird auf weiterführende Literatur wie Jakobson und Weissman (1993) verwiesen, die sich mit der Generierung, der Kopplung sowie der anschließenden logischen Aufbereitung von Alarm-

meldungen beschäftigt. Einige Studien zum Themenumfeld von Visualisierung der Alarmmeldungen mit dynamischem Verhalten und auch deren optimale Präsentation werden in der Arbeit von Woods (1995) beschrieben.

Zusammenfassung und Implikation

In den Projekten *Curve* (Wimmer & Schulz, 2009; Wimmer et al., 2010) und *BendDesk* (Weiss et al., 2010) wird ein interaktives gebogenes Displays entwickelt. Dabei wird die Fläche in drei logische Bereiche – horizontal, vertikal und gekrümmt – unterteilt. Der Kurvenbereich wird im Projekt *Curve* nicht als zusätzliche Anzeigefläche gesehen, sondern nur als eine erforderliche Verbindung der Displaybereiche. Im Konzept von *BendDesk* wird empfohlen, dezidierte Aufgaben für die drei logischen Bereiche bei der Gestaltung von Anwendungen vorzusehen. So sollen nach Morris et al. (2007) die Displaybereiche für Aufgaben wie Lesen und Bearbeiten von Texten optimal eingesetzt werden. Darüber hinaus wird beispielsweise im Kontext des *BendDesk*-Projekts in einem Konzeptvorschlag der Kurvenbereich genutzt, um wichtige Meldungen anzuzeigen. Die unterschiedlichen Displaybereiche mit ihren jeweiligen Vorteilen für die verschiedenen Tätigkeiten bieten neue Potenziale, um den Operator zu unterstützen. Hierbei müssen jedoch im Kontext der Leitwarte entsprechende neuartige Interaktions- und Visualisierungskonzepte geschaffen werden, um die Vorteile der physischen Anordnung der Anzeigeflächen bestmöglich nutzen zu können. Die horizontalen und vertikalen Anzeigeflächen eines gebogenen Displays erlauben es, die Übersichts- und Detailinformationen sinnvoll räumlich zu trennen. Das bewirkt eine verbesserte mentale Wahrnehmung, da die verschieden orientierten Displaybereiche miteinander verschmelzen. Für die Interaktion und Visualisierung soll auch der Kurvenbereich genutzt werden, um die von Baudisch et al. (2001) aufgeführten Zusatzbelastungen durch die kontinuierliche Visualisierung zu reduzieren.

Obwohl in den Konzepten *Bird's Eye-View* (Lorenz et al., 2008; Lorenz, 2011) und *Augmented Windshield-Display* (Kim & Dey, 2009) eine nahtlose Verknüpfung von unterschiedlichen Ansichten umgesetzt worden ist, wirkt der perspektivische Übergang innerhalb der planaren Ansichten auf den Nutzer nicht natürlich. Hierbei kann durch Einsatz eines gebogenen Displays Abhilfe geschaffen werden, da diese Form die Perspektive und damit die Darstellungsebene ausgleicht. Allerdings gilt es, beim Entwurf der Konzepte darauf zu achten, dass die Kopfposition des Nutzers gerade bei gebogenen Displayformen sehr variabel sein muss.

Die vorgestellten Forschungsarbeiten (Elzer & Beuthel, 1998; Klump et al., 2002; Pramsohler et al., 2010) im Leitwartenkontext erweitern die zweidimensionale Darstellung von Knotenpunkten mit dreidimensionalen Säulen. Dabei werden die Detailinformationen direkt am Ursprungsort angezeigt. Nach Pramsohler et al. (2010) rücken die Informationen durch die dreidimensionale Darstellung näher in den Fokus des Operators. Die dreidimensionale Erweiterung kann aber zu Verdeckungseffekten bei wichtigen Informationen im Prozessbild führen (Schneiders, 2014).

5.2.3 Grundkonzept

Im Folgenden wird die Nutzung der Displayflächen abstrakt dargestellt, um ein grundsätzliches Verständnis für die Anordnung der Flächen zu erreichen. Eine detaillierte Beschreibung folgt im Anschluss in den Interaktions- und Visualisierungskonzepten anhand eines *Design Case* aus dem Kontext der Verkehrsüberwachung eines U-Bahnnetzes.

Die Gliederung der Ansichten lehnt sich an das Konzept von Wimmer et al. (2010). Die Displaysegmente werden in folgende drei Bereiche aufgeteilt: *vertikale Anzeigefläche*, *Kurvenbereich* und *horizontale Anzeigefläche*. Wie die Untersuchung von Morris et al. (2007) zeigt, ermöglicht die horizontale Ausrichtung der Displays eine angenehmere Armhaltung, was insbesondere bei langen Schichtzeiten in Leitwarten eine Arbeitserleichterung bedeutet. Darüber hinaus können bei dieser Ausrichtung die erlernten und evolutionsbedingten Charakteristika wie die Organisation von Informationen

durch Schieben oder Stapeln auf einer Schreibtischplatte berücksichtigt werden (Morris et al., 2010). Die Ausrichtung der Hauptinteraktionsfläche orientiert sich dabei an der VDI/VDE 3850 (Blatt 3)³¹, die empfiehlt, Touch-Eingaben auf der Horizontalen zu positionieren. Im Umkehrschluss soll laut der Normung das Display vertikal ausgerichtet werden, wenn die Visualisierung von Informationen im Vordergrund steht.

Für eine optimale Arbeitsplatzgestaltung müssen horizontale und vertikale Displays, sich sinnvoll ergänzend, eingesetzt werden. Für die Übersicht wird der horizontale Bereich genutzt, die Detailinformationen werden auf der vertikalen Anzeigefläche abgebildet. Dabei werden die Informationen im Übersichtsbereich zweidimensional visualisiert. Darüber hinaus wird im Kurvenbereich die Übersichtsdarstellung um die dritte Dimension erweitert. Dem Operator wird das Gefühl vermittelt, die Übersicht erstrecke sich in das vertikale Displaysegment (siehe Abbildung 94a, rosa gekennzeichnet). Durch diese Überlappung entsteht eine Ausdehnung der Übersicht in Richtung der Z-Achse. Diese erstreckt sich sowohl über den Kurvenbereich als auch über den Anzeigebereich des vertikalen Displays. Gegenüber dem Ansatz der *Bird's Eye-View* von Lorenz et al. (2008) liegt der Vorteil hierbei darin, dass die unnatürliche Verzerrung der Ansicht durch die dreidimensionale Erweiterung stets ein Gefühl einer natürlichen Erweiterung des Informationsraums vermittelt. In Anlehnung an das Konzept von Kim und Dey (2009) fungiert der Kurvenbereich als Head-Up-Display (siehe Abbildung 94a, blau gekennzeichnet).

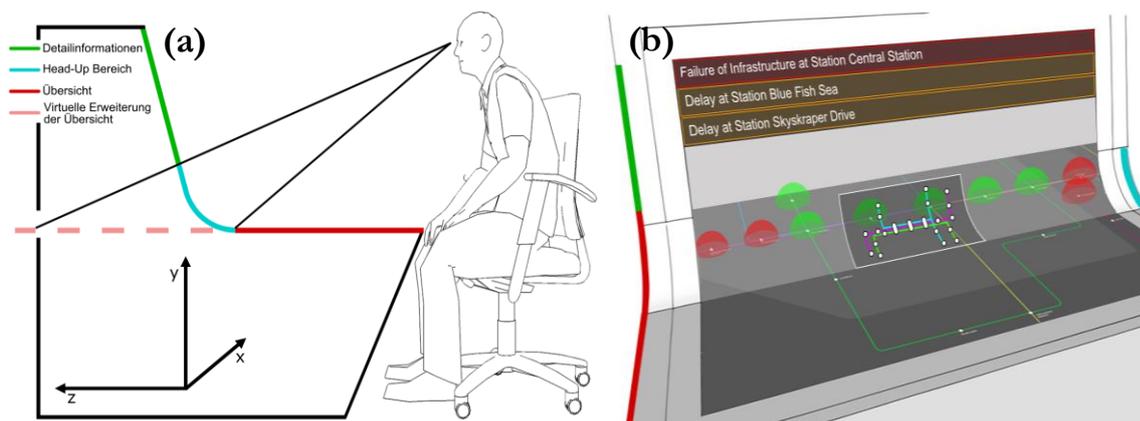


Abbildung 94 Visualisierungskonzept für den Privat Space auf dem Curve

(a) Visualisierung der Detailinformationen (grün), Kurvenbereich als Head-Up-Anzeige und Verbindung zwischen vertikaler und horizontaler Anzeigefläche (blau), Visualisierung der Übersichtsinformationen (rot), Erweiterung des Übersichtsbereichs in Richtung der Z-Achse (rosa); (b) Detailansicht von Informationen im vertikalen Bereich (grün); Übersichtsbild des U-Bahnnetzplans im horizontalen Bereich (rot), Head-Up-Display im Kurvenbereich (blau) (Schwarz, Hennecke, et al., 2012)

Dabei hat der Operator die Möglichkeit, auf den darunterliegenden Informationsraum und auf wichtige Detailinformationen zu blicken. Die Übersicht in Richtung der Z-Achse visuell weiterzuführen, birgt den großen Vorteil, dass durch den Blickwinkel des Operators auf die Z-Achse bei geringem Platzverbrauch von effektiver Anzeigefläche ein großer Teil eines Informationsraums dargestellt werden kann. Zudem ist der Informationsraum durch den Betrachtungswinkel im Verhältnis zur physikalischen Anzeigefläche effizienter ausgenutzt als bei einer herkömmlichen zweidimensionalen Darstellung. Grund hierfür ist die perspektivische Verzerrung, die auf dem Display eine Stauchung des Informationsraums bewirkt. Somit wird beim Konzept das Overview+Detail-Entwurfsmuster mit jeweils einem Anzeigebereich für die Übersicht und Detailansicht sowie dem

³¹ VDI/VDE 3850 - Blatt 3 (2014): Nutzergerechte Gestaltung von Bediensystemen für Maschinen - Dialoggestaltung für Touchscreens.

Kurvenbereich erweitert, um die inhaltliche und geografische Verbindung zwischen den Ansichten herzustellen.

Der Informationsraum innerhalb dieses *Design Case* wird in Form einer Kartendarstellung eines U-Bahnnetzplans repräsentiert (siehe Abbildung 94b). Das erarbeitete Konzept soll dabei in Leitwarten domänenübergreifend verwendet werden können. Je nach Domäne, z. B. Verkehrsüberwachung, gestaltet sich der entsprechende Informationsraum zur Prozessüberwachung.

Als Werkzeug für die Gestaltung der Benutzungsschnittstelle wird analog zu den vorherigen Konzepten das *Conceptual Blending* herangezogen. Die Interaktion und die Visualisierung im *Private Space* werden an den Alltagserfahrungen bei der Interaktion mit Objekten der realen Welt orientiert. Bereits in der frühen Prozessführung wird der Informationsraum anhand von großen papierbasierten Übersichtsplänen dargestellt. Mit Hilfe von stecknadelähnlichen Markern werden wichtige Punkte auf der Karte markiert. Im Sinne des *Conceptual Blending* soll das Konzept eine Bedienung erlauben, die sowohl die Merkmale der realen Übersichtskarte (*Input Space 1*) beinhaltet als auch die Erweiterung der digitalen nicht realistischen Eigenschaften (*Input Space 2*) wie Skalierung und Zooming übernimmt. Der Operator kann die Übersichtskarte analog einem physischen Plan auf einer Tischplatte verschieben. Somit können interessante Prozessbereiche bequem angeschaut werden. Die Übersichtskarte wird durch die digitalen Möglichkeiten scheinbar *hinter* dem Head-Up-Display fortgeführt (*Input Space 2*). Somit entsteht ein *Blend* mit emergenten Eigenschaften, der in dieser Art und Weise nicht in den Ursprungsdomänen zu finden ist.

Im mittleren Bereich des gebogenen Displays werden dem Operator wichtige Informationen bereitgestellt. Diese können je nach Domäne von unterschiedlicher Bedeutung sein. Im vorliegenden Konzept werden dem Operator zwei unterschiedliche Informationsarten in den Kurvenbereich projiziert. Zum einen werden wichtige Detailinformationen zu markanten Punkten, die auf der Übersichtskarte vom Operator manuell selektiert worden sind, angezeigt, und zum anderen werden entsprechende Indikatoren präsentiert, die die Richtung der gesuchten Objekte ähnlich wie bei einem Navigationsgerät anzeigen.

In Anlehnung an das *Halo*-Konzept (Baudisch & Rosenholtz, 2003) werden dreidimensionale Halbkugeln, die entsprechend farblich codiert sind, in die perspektivische Erweiterung des Übersichtsbereichs eingefügt (siehe Abbildung 94b). Die Knoten im Netzplan, die außerhalb des sichtbaren Bereichs platziert sind, werden dem Operator durch Halbkugeln kenntlich gemacht. Des Weiteren wird durch die Größe der Halbkugeln sowie deren Lage im Informationsraum ein entsprechender Richtungscode vermittelt. In Abbildung 94b wird in der Mitte des Kurvenbereichs eine Miniaturkartenübersicht des gesamten Informationsraums angezeigt. Diese dient dem Operator als zusätzliche Orientierungshilfe.

Auf dem vertikalen Displaysegment wird dem Operator eine Detailansicht präsentiert, die die eingehenden Störungen analog zum heute eingesetzten Meldungsbildschirm in Form einer Listendarstellung bereitstellt (siehe Abbildung 94b). Dabei können zwei unterschiedliche Detailansichten konfiguriert werden: eine globale Ansicht mit Meldungen des gesamten Informationsraums oder detaillierte Informationen zu einem spezifischen Knotenpunkt im Informationsraum.

5.2.4 Interaktionskonzept

Für die Untersuchungen (vgl. Morris et al. 2007, 2010; Benko et al. 2009) zur Ausrichtung von Displays sollen je nach Aufgabentypus entweder vertikale oder horizontale Displays eingesetzt werden. So führt beispielsweise ein vertikal ausgerichtetes Display mit interaktiver Oberfläche bei langanhaltenden Interaktionszyklen zur Ermüdung der Armmuskulatur. Aus diesem Grund werden dem Operator zwei unterschiedliche Interaktionsmodi bereitgestellt, die aus den Anforderungen der jeweiligen Aufgabenstellung abgeleitet worden sind (siehe Abschnitt 3.2.3). Für die explorative Su-

che im Informationsraum, um beispielsweise der Ursache eines anormalen Betriebszustands nachzugehen, wird die horizontale Fläche verwendet. Dabei liegt der Fokus auf dem horizontalen Displaybereich, da eine ergonomisch bessere Armhaltung (vgl. Morris et al., 2007, 2008) unterstützt wird. Das zweite Konzept berücksichtigt die direkte Interaktion bei der Bearbeitung von Fehlermeldungen, die grundsätzlich auf dem vertikalen Displaybereich visualisiert werden. Im Folgenden werden anhand des U-Bahnnetzplans die jeweiligen Interaktionskonzepte des horizontalen und des vertikalen Anzeigebereichs vorgestellt.

Interaktionspriorität auf dem Übersichtsbereich

Bei Überwachungs- und Diagnosetätigkeiten können die Operatoren die U-Bahnstationen (Knotenpunkte) im Informationsraum durch Panning direkt per Touch-Interaktion steuern. Johnson (1995) nennt diese Form der Interaktion im Übersichtsbereich *Push Background*. Dabei dient das Display als fixer Bezugsrahmen, da das Prozessbild mit dem Finger auf die gleiche Art und Weise wie reale Karten und Pläne verschoben wird (vgl. *Input Space 1*). Des Weiteren kann die Übersichtskarte skaliert werden, indem zwei Finger auseinander (Vergrößern des Kartenausschnitts) oder zueinander bewegt werden (Verkleinern des Kartenausschnitts, vgl. *Input Space 2*). Um ein realistisches Verhalten im Sinne der Metapher einer realistischen Kartenbewegung zu erhalten, wird ein *Control-Display-Ratio*³² in einem konstanten Verhältnis (1:1 auf das Übersichtsbild) angewendet. In diesem Zusammenhang werden bewusst das realitätsbasierte Prinzip der Kartenbewegung und damit die Einschränkung in Kauf genommen, dass beim gewählten Faktor die Bewegung des Prozessbilds wahrscheinlich langsamer ist, als es für die Bedienung der Navigation notwendig wäre.

Um Detailinformationen zur Übersicht zu bekommen, muss der jeweilige spezifische Knotenpunkt (U-Bahnstationen) im Fokusbereich platziert werden. Dieser findet sich in der Mitte des Head-Up-Displays. Die Fokusregion wird entsprechend grün eingefärbt (siehe Abbildung 95a). Der Operator kann den Punkt per *Drag & Drop* in den vertikalen Displaybereich verschieben. Zur Orientierung bekommt der Operator bei der Ausführung der Interaktion eine visuelle Rückmeldung.

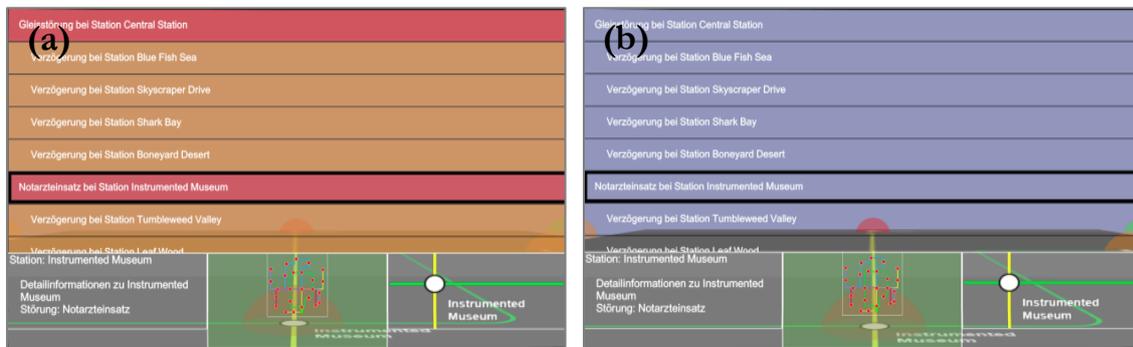


Abbildung 95 Visualisierung der Meldungsliste

(a) Eine Station befindet sich in der Fokusregion. (b) Die Meldungsliste wird transparent, wenn im Übersichtsbild interagiert wird (Lauber, 2011).

Ziel ist es, dem Operator immer möglichst viel von der Übersichtskarte zu präsentieren, wenn er auf dem horizontalen Segment interagiert. Aus diesem Grund wird mit zunehmender Zeit der horizontale Bereich transparent dargestellt, z. B. die Meldungsliste, um somit mehr Anzeigefläche für die Diagnose bereitzustellen (siehe Abbildung 95b). Es ist davon auszugehen, dass die lokale Detailansicht für den ursprünglich selektierten Knotenpunkt nicht mehr von Interesse ist, wenn der Operator in der Übersichtskarte neu diagnostiziert. Aus diesem Grund bleibt die Detailansicht so lange aktiv, bis der Operator wieder auf der Übersichtskarte interagiert. Beendet der Operator die

³² Control-Display-Ratio ist das Verhältnis aus der Bewegungsgeschwindigkeit eines Eingabegeräts und der resultierenden Bewegung des Zeigers (Gibbs, 1962).

Interaktion auf dem horizontalen Displaybereich, weil beispielsweise die Störung gefunden worden ist, so wird die Meldungsliste erneut ins Bewusstsein des Operators gerückt, indem sie automatisch opaker dargestellt wird. Zwischen der globalen Meldungsliste und dem Informationsraum findet eine ständige Synchronisation statt. Wird also eine Station mit Störung vom Operator selektiert, so wird ebenfalls die dazugehörige Meldung gekennzeichnet. Zusätzlich wird die Liste per Animation automatisch an den entsprechenden Fehlereintrag geführt.

Interaktionspriorität auf dem Detailbereich

Die Interaktion auf dem vertikalen Displaybereich dient in erste Linie dazu, die eingehenden Meldungen chronologisch abzuarbeiten. Hierbei muss der Operator schnellstmöglich zur Entstehung der Meldung navigiert werden, um die Problemursache am Ursprung diagnostizieren zu können. Nach Auswahl der Meldung wird die Übersichtskarte der Prozessvisualisierung zentral in den Fokusbereich verschoben. Bei der Auswahl muss der Operator zweimal kurz hintereinander die Meldung per Finger anwählen. Dieser *Doppel-Tap*-Mechanismus wird aufgrund des sicherheitskritischen Kontexts umgesetzt, um ein versehentliches Auslösen einer Navigation zu vermeiden. Um dem Operator ein Gefühl für die Länge und Richtung der Distanz zu geben, wird die Strecke durch eine animierte Visualisierung überbrückt. Befindet sich der zu analysierende Punkt im Fokusbereich, kann sich der Operator zusätzliche Details zur Meldungsliste anzeigen.

Das Abrufen der Detailinformationen geschieht ebenfalls durch eine *Drag & Drop*-Geste, indem der Fokus auf die vertikale Anzeigefläche gezogen wird. Ist die Störung durch den Operator abgearbeitet, kann diese quittiert und damit gelöscht werden. Um ein versehentliches Löschen der Meldungen zu verhindern, können diese ebenfalls nur per *Doppel-Tap* entfernt werden.

5.2.5 Visualisierungskonzept

Die Visualisierung soll einen nahtlosen visuellen Übergang der einzelnen Displaybereiche schaffen, um so den mentalen Aufwand für den Operator zu reduzieren. Für die optische Erweiterung in Richtung der Z-Achse wird ein dreidimensionales Modell gestaltet, das an die gebogene Form des *Curve* angepasst ist. Abbildung 96a verdeutlicht anhand eines schematischen Querschnitts die einzelnen Ansichten.

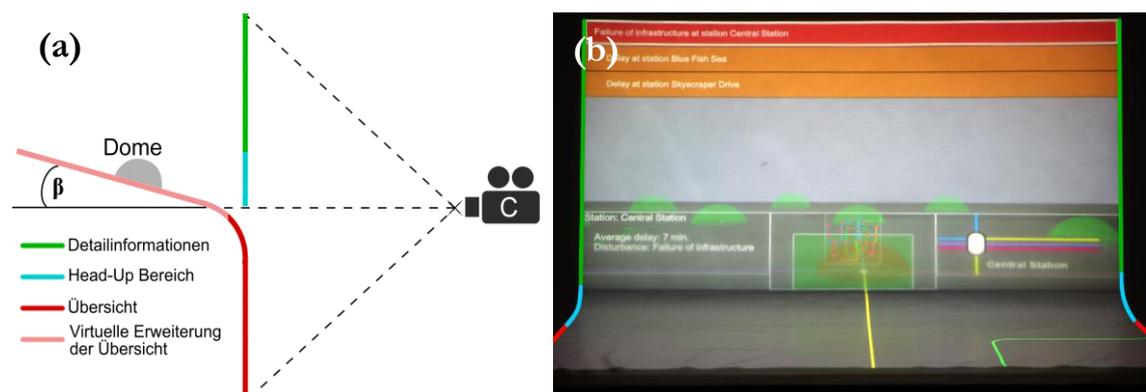


Abbildung 96 Schematischer Querschnitt und reale Prozessvisualisierung auf dem Curve

(a) Der schematische Querschnitt zeigt die Umsetzung der Visualisierungskomponenten. Die virtuelle Kamera C gibt die Position des Operators an. (b) Die Abbildung zeigt die Erweiterung des Prozessbilds im Original mit optimaler Sitzposition (Schwarz, Hennecke, et al., 2012).

Dabei ist der Standpunkt des Operators wichtig (siehe Abbildung 96b), da sich daraus die Perspektive ergibt, mit Hilfe derer die Erweiterung des Prozessbilds wahrgenommen wird.

Übersicht

Die Visualisierung des gesamten Informationsraums findet auf dem horizontalen Displaybereich statt. Darüber hinaus wird ein Teil des Kurvenbereichs genutzt, um den Informationsraum in Richtung der Z-Achse zu erweitern. Durch die räumliche Erweiterung der Übersicht werden dem Operator mehr Informationen für die Überwachung und Diagnose bereitgestellt. Mit Hilfe einer Stauchung der Textur kann auf dem tatsächlich vorhandenen Displayplatz mehr Information visualisiert werden als bei einer traditionellen zweidimensionalen Darstellung. Zusätzlich wird die Orientierung im Raum verbessert, da weniger in der Übersicht skaliert werden muss, um beispielsweise die Umgebungsinformationen zu betrachten.

Im Bereich hinter dem Head-Up-Display entsteht mittels räumlicher Erweiterung der Übersicht eine perspektivische Verzerrung der Prozessvisualisierung. Informationsobjekte wie Stationen im Netzplan können hinter dem Head-Up-Display von einer gewissen Entfernung an vom Operator schlecht eingesehen werden. Um diesem Effekt entgegenzuwirken, wird eine dreidimensionale Struktur (*Domes*) gestaltet, die die Punkte mit einer halbkugelartigen Form umschließen (siehe Abbildung 97).

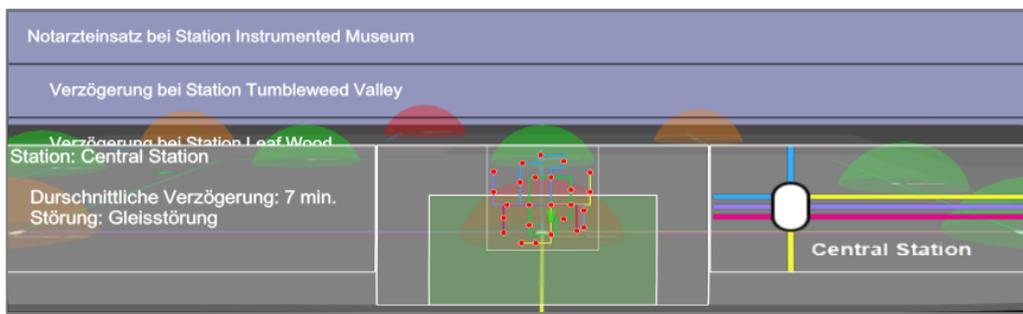


Abbildung 97 Unterstützung der Orientierung mittels dreidimensionaler Domes

Die farblich (grün, rot und orange) codierten dreidimensionalen Domes unterstützen den Operator bei der Orientierung innerhalb des erweiterten Bereichs der Z-Achse.

Dabei werden die halbtransparenten Kugeln auf dem Mittelpunkt der Objekte platziert, ohne jedoch Informationen der darunterliegenden Daten zu überdecken. Die dreidimensionalen *Domes* sind mit zwei Informationen codiert, zum einen gibt die Ausdehnung der Halbkugel in Richtung der Y-Achse an, wohin der Operator navigieren muss, um zum Knotenpunkt zu gelangen. Zum anderen wird analog dem Konzept von Baudisch und Rosenholtz (2003) der Radius innerhalb der *Domes* zum Fokusbereich dynamisch angepasst. Je weiter sich die Entfernung erstreckt, desto größer wird der Radius.

Darüber hinaus weisen die *Domes* auf die Existenz von Objekten (U-Bahnstationen) im nicht sichtbaren Bereich hin. Analog zur Meldungsliste auf der Detailansicht werden im Fehlerfall die *Domes* rot und bei normaler Betriebssituation grün eingefärbt (siehe Abbildung 97). Gerade im Hinblick auf die Diagnosetätigkeiten ist somit schnell ersichtlich, welche Objekte in der Umgebung betroffen sind.

Head-Up-Display

Das Head-Up-Display, das sich in drei Bereiche einteilen lässt, zeigt Informationen aus der Prozessübersicht und aktuell wichtige Detailinformationen an. Durch die transparente Darstellung wird der Anzeigebereich von Prozessinformationen in der Übersicht nicht reduziert. In Abbildung 98 werden die drei Bereiche, die im Folgenden detailliert beschrieben werden, grafisch veranschaulicht.

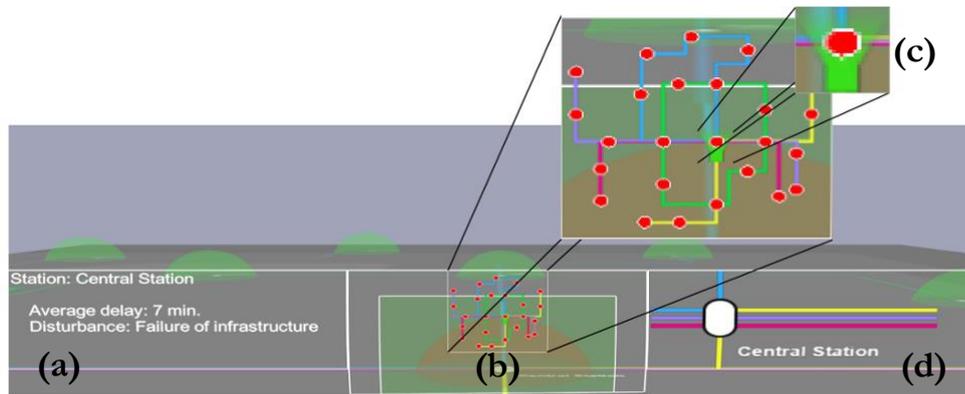


Abbildung 98 Head-Up-Display im Kurvenbereich

(a) Zusammenfassung der wichtigsten Detailinformationen der ausgewählten Station; (b) Station in der Fokusregion (grüne Einfärbung) markiert; (c) Vergrößerte Mini-Kartendarstellung mit Blend der virtuellen Taschenlampen; (d) Projektion der Station, die in der Fokusregion ausgewählt ist (Schwarz, Hennecke, et al., 2012)

Linker Bereich (a) – Sämtliche Detailinformationen eines selektierten Knotens werden links angezeigt. In diesem Szenario wird die Station *Central Station* vom Operator in den Fokusbereich geschoben. Daher wird eine frei konfigurierbare Zusammenfassung der wichtigsten Details, hier im Beispiel Stationsname und Verzögerung, dargestellt (siehe Abbildung 98a).

Mittlerer Bereich (b-c) – Der Fokusbereich befindet sich in der Mitte des Head-Up-Displays. In Abbildung 98b wird im Fokusbereich die Station *Central Station* markiert, was durch eine grüne Einfärbung kenntlich gemacht wird. Maßgeblich für die Position des Fokusbereichs sind sowohl der ergonomische Aspekt als auch das Kontinuitätsprinzip, da im Kurvenbereich bedeutende Elemente aus den Anzeigenbereichen zusammengeführt werden. Der Fokusbereich wird so platziert, dass der Operator keine nach vorn gebeugte Körperhaltung einnehmen muss, wodurch die Nackenmuskulatur bei langen Diagnosetätigkeiten geschont wird. Das Interaktionsmodell unterscheidet sich grundsätzlich vom Focus+Context-Konzept in *Design Case I* und auch von den klassischen Overview+Detail-Entwurfsmustern, denn nicht der Fokusbereich, sondern die Übersichtskarte (analog der realen Welt) wird bewegt, um sich Detailinformationen anzeigen zu lassen. Durch die ortskonstante Positionierung des Fokusbereichs weiß der Operator stets, an welchem Ort sich der Fokus befindet. Um die Orientierung im Informationsraum zusätzlich zu unterstützen, wird dem Operator eine Miniaturkartenübersicht angeboten, die den vollständigen Netzplan im Head-Up-Display schematisch anzeigt (siehe Abbildung 98c). In der Mini-Kartenübersicht wird dem Operator der aktuelle Standpunkt im Informationsraum angezeigt. Die Vergrößerung der Übersicht in Richtung der Z-Achse hat zur Folge, dass der avisierte Punkt im schrägen hinteren Bereich des Markers liegt. Um ein korrektes mentales Bild beim Operator zu schaffen, wird die tatsächliche Lage des Punkts im Konzept berücksichtigt. Hierzu werden als Basis für die nutzerzentrierte Gestaltung die Prinzipien des *Conceptual Blending* angewendet. Gemäß dem *Conceptual Blending* enthält das Konzept unterschiedliche *Input Spaces*. *Input Space 1* nutzt reale Eigenschaften wie das Ausleuchten eines Raums mit der Taschenlampe. So entsteht beim Operator ein verbessertes mentales Bild, da mit der Taschenlampenmetapher der Punkt auf der Karte *angeleuchtet* wird. Der *Input Space 2* liefert die digitalen Eigenschaften der Interaktion, die in der Prozessvisualisierung verankert sind, z. B. das Verschieben der Übersicht durch Panning und Zooming. Der so entstandene *Blend* wird in Abbildung 98c verdeutlicht.

Rechter Bereich (d) – Im rechten Bereich des Head-Up-Displays wird eine zusätzliche zweidimensionale Projektion des selektierten Punkts (*Central Station*) angezeigt, da die dreidimensionale Darstellung der Übersicht perspektivisch verzerrt ist (siehe Abbildung 98d). Durch diese Verzerrung ist es

für den Operator schwer, feine grafische Strukturen wahrzunehmen. Dem Operator werden die kreuzenden Linien an der Station auf einen Blick präsentiert.

Detailansicht

Für die Detailansicht, die auf dem vertikalen Displaybereich angezeigt wird, sind zwei unterschiedliche Darstellungsvarianten umgesetzt worden, und zwar eine *globale* und eine *lokale* Meldungsliste.

Globale Detailansicht – Für den Operator werden in der globalen Detailansicht alle prozessspezifischen Meldungen visualisiert. Analog den *Domes* werden die eingehenden Meldungen je nach Wichtigkeit rot (Priorität 1) und orange (Priorität 2) codiert (siehe Abbildung 99). Die Abhängigkeiten werden sowohl durch Einrückung der Texte als auch durch die Farbgebung dargestellt. Eine vom Operator ausgewählte Meldung wird durch eine schwarze Umrandung gekennzeichnet.

Gleisstörung bei Station Central Station
Verzögerung bei Station Blue Fish Sea
Verzögerung bei Station Skyscraper Drive
Verzögerung bei Station Shark Bay
Verzögerung bei Station Boneyard Desert
Notarzteinsatz bei Station Instrumented Museum
Verzögerung bei Station Tumbleweed Valley

Abbildung 99 Globale Darstellung der Meldungen

Die Gleisstörung bei der Station Central Station hat Priorität 1. Von dieser Meldung sind vier weitere Stationen in Form von Verzögerungen der Abfahrtszeiten betroffen (Lauber, 2011).

Lokale Detailansicht – Auf dem vertikalen Anzeigebereich werden statische und dynamische Prozessinformationen zum lokalen Zustand eines selektierten Knotenpunkts dargestellt. Bei anormalen Betriebszuständen werden dem Operator direkt im Kontext umfangreiche Zusatzinformationen, z. B. sowohl deren Priorität und Ursprung als auch textuelle Informationen, angezeigt. Dabei werden wie auch bei der globalen Ansicht voneinander abhängige Meldungen gekennzeichnet. Die Aufteilung der Detailansicht wird exemplarisch in drei Informationsbereiche (Detailinformationen, Detailansicht der Meldung und verwandte Meldungen) vorgenommen (siehe Abbildung 100).

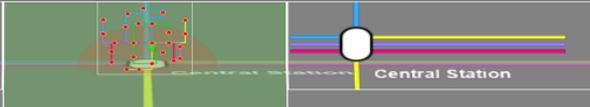
Detailinformationen Stationsname: Central Station Durchschnittliche Verzögerung: 7 min. Gelb: 7 min. Violett: 6 min. Pink: 12 min. Blau: 3 min.	Verwandte Meldungen Verzögerung bei Station Blue Fish Sea Verzögerung bei Station Skyscraper Drive Verzögerung bei Station Shark Bay Verzögerung bei Station Boneyard Desert
Detailansicht der Meldung Gleisstörung bei Station Central Station Priorität: Hoch <input type="button" value="Meldung löschen!"/>	
Station: Central Station Durchschnittliche Verzögerung: 7 min. Störung: Gleisstörung	

Abbildung 100 Lokale Darstellung der Meldungen

Die lokale Darstellung von Meldungen wird in drei Bereiche eingeteilt, um dem Operator die wichtigsten Informationen bereitzustellen (Lauber, 2011).

Zugunsten der Ergonomie werden umfangreiche textuelle Detailinformationen zur Station im oberen linken Bereich positioniert. Im unteren linken Bereich wird die Meldung angezeigt, die mit dem Fokusbereich ausgewählt worden ist. Diese kann nach Bearbeitung vom Operator quittiert werden.

Der rechte Bereich repräsentiert die abhängige Meldung, die zum Kontext des aktuell ausgewählten Knotenpunkts gehört. Auch hier werden die angezeigten Störungen mit entsprechenden Prioritäten versehen.

Der Operator kann per *Doppel-Tap* wie in der globalen Meldungsliste interagieren. Bei der Auswahl einer Meldung durch den Operator wird eine Animation zur ausgewählten Station ausgeführt. Für die Diagnosesetätigkeit sind besonders die Kontextinformationen wichtig. Deshalb bezieht sich die Detailansicht auf den Ursprung der Meldung. Das beschleunigt zugleich die Bearbeitung von abgängigen Meldungen, da keine erneute Auswahl des Ausgangspunkts der Störung notwendig ist. Jedoch kann der Operator immer den lokalen Kontext der Detailansicht per *Drag & Drop*-Geste im Head-Up-Display anpassen.

Perspektivische Verzerrung

Mit der Erweiterung des Übersichtsbereichs in Richtung der Z-Achse soll dem Operator das Prozessbild möglichst unverzerrt dargestellt werden. Im Konzept wird eine perspektivische Verzerrung der Übersicht direkt an der Krümmung des Displays umgesetzt (siehe Abbildung 101a).

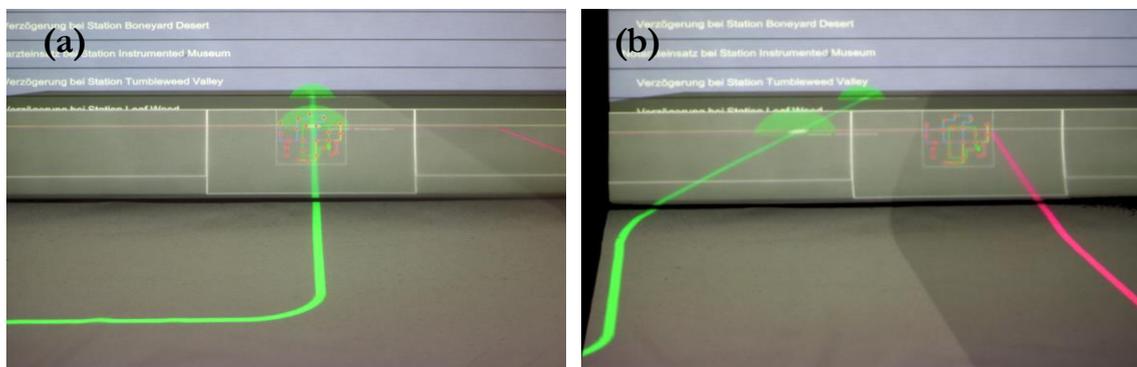


Abbildung 101 Perspektivische Verzerrung in den Randbereichen des Displays

(a) Perspektive aus zentraler Position vor dem Display; **(b)** Perspektive bei Position am linken Randbereich des Displays

Dadurch werden die vertikal verlaufenden Netzlinien, die vom horizontalen in den virtuell erweiterten Bereich verlaufen, gerade ausgerichtet. Hierbei gilt es jedoch zu beachten, dass nur ein realitätsnahes Raumgefühl zustande kommt, wenn der Operator eine zentrale Position vor dem Display einnimmt. Bei der Positionierung des Operators im Randbereich des Displays findet eine perspektivische Verzerrung statt (*optischer Knick*) (siehe Abbildung 101b). Je größer der Abstand der Netzlinie von der X-Position des Mittelpunkts ist, desto größer wird auch die Entfernung zum Displaymittelpunkt. Somit hängt der Verzerrungsgrad von der Position des Operators ab. Neben der vertikalen Ausrichtung der Position vor dem Display ist auch die Sitzhöhe des Operators, d. h. der Winkel zwischen Blickrichtung sowie horizontaler Displayebene, von Bedeutung. Um eine möglichst natürliche Erweiterung in der Z-Achse gewährleisten zu können, muss die Neigung der virtuellen Erweiterung im Übersichtsbereich entsprechend der Höhe der Sitzposition angepasst werden. Denn je nach Lage, z. B. Erhöhung der Augenposition durch das Aufstehen, muss sich der Betrachtungswinkel dynamisch anpassen. Dazu muss der Winkel zwischen dem Übersichtsbereich und dem Bereich der virtuellen Erweiterung vergrößert oder entsprechend verkleinert dargestellt werden.

Die beschriebene perspektivische Anpassung in der horizontalen und vertikalen Displayebene wird im Konzept durch eine manuelle Kalibrierung umgesetzt. Dabei wird die perspektivische Verzerrung so umgesetzt, dass sich die X-Position (horizontal) und die Y-Position (vertikal) der optimalen Position des Nutzers anpassen.

Eine mögliche Lösungsvariante ist von Francone und Nigay (2011) für Applikationen für mobile Endgeräte entwickelt worden. Mittels Frontkamera wird die Kopfposition des Nutzers ermittelt, um die Szenerie dem entsprechenden Blickwinkel perspektivisch anzupassen. Konkret könnte eine Webcam zentral auf dem *Curve* platziert werden, um per Head- bzw. Eye-Tracking die Bedienposition des Operators zu erfassen.

5.2.6 Evaluation

Die Fragestellung in der Untersuchung liegt darin, wie die neuartige Prozessvisualisierung in Verbindung mit der physischen Anpassung der Arbeitsbereiche den Operator innerhalb der persönlichen Arbeitsumgebung unterstützt. Dabei gilt es zu überprüfen, wie das ausgearbeitete Konzept im Vergleich zu einer herkömmlichen zweidimensionalen Visualisierung (Overview+Detail) in der Bewertung abschneidet. So soll der Frage nachgegangen werden, ob der Nutzer wahrnimmt, dass mit der perspektivischen Erweiterung des Netzplans mehr Informationen gleichzeitig angezeigt werden können. Darüber hinaus soll evaluiert werden, ob die perspektivische Erweiterung in Verbindung mit dem Head-Up-Display den visuellen Fokus des Nutzers gezielt lenkt.

Versuchsaufbau

Das gebogene Display hat eine Tiefe von 35 cm im Übersichtsbereich und eine Gesamthöhe von 44 cm, wobei die Detailansicht eine Höhe von 38 cm einnimmt. Abbildung 102 zeigt einen Probanden bei der Bearbeitung der Testaufgaben.



Abbildung 102 Versuchsaufbau mit Curve-Display im Labor

Die perspektivische Verzerrung der visuellen Erweiterung in der Z-Achse wird auf die jeweilige Größe der Probanden angepasst.

Der U-Bahnnetzplan auf der Übersicht hat eine Auflösung von 4096×4096 Pixeln. Die Studie hat im Labor der LMU München stattgefunden.

Kontrollbedingung

Um zu überprüfen, welche Vorteile das Konzept gegenüber dem aktuellen Ansatz bietet, wird eine *Kontrollbedingung* (2D) umgesetzt, die weder die perspektivische Erweiterung der Prozessübersicht in Richtung der Z-Achse noch die dreidimensionalen *Domes* beinhaltet (siehe Abbildung 103a). Die *Kontrollbedingung* wird ebenfalls am *Curve* umgesetzt, um eine verbesserte Vergleichbarkeit zu schaffen. Das Head-Up-Display wird in der *Kontrollbedingung* auf das horizontale Displaysegment platziert. Das hat zur Folge, dass der Netzplan durch das Head-Up-Display etwas verdeckt wird (siehe Abbildung 103b). Die Selektion eines Knotenpunkts erfolgt analog dem *Experimentalsystem* (3D) mit dreidimensionaler Darstellung. Der Taschenlampen-*Blend* in der Miniaturkartenübersicht, die im Head-Up-Display platziert ist, wird aufgrund der Perspektive durch einen rechteckigen Rahmen ersetzt.

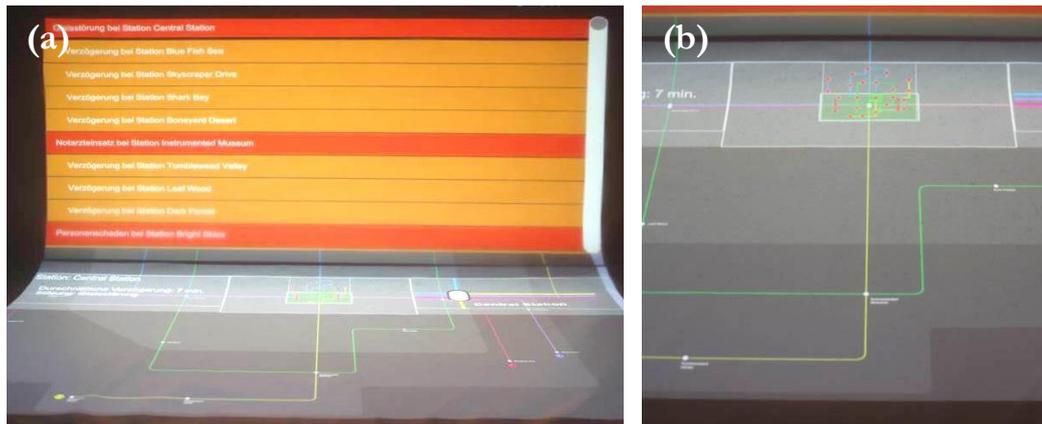


Abbildung 103 Darstellung der Kontrollbedingung (2D)

- (a) Kontrollbedingung ohne Erweiterung des Anzeigebereichs in der Z-Achse;
 (b) Ausschnitt des Netzplans und Head-Up-Display im Übersichtsbereich

Die Anzeige der Detailinformationen wird wegen des Entfallens des Head-Up-Displays auf der horizontalen Anzeigefläche erweitert, diese schließt mit der Unterkante auf der Prozessübersicht ab (siehe Abbildung 103b). Die Detailinformationen sind analog zu heutigen separaten Meldungsbildschirmen immer im vertikalen Bereich sichtbar.

Versuchsablauf

Die experimentelle Benutzerstudie wird im Rahmen eines vergleichenden Versuchs zwischen dem dreidimensionalen *Experimentalsystem* (3D) und dem zweidimensionalen *Kontrollsystem* (2D) durchgeführt. Um möglichen Lerneffekten entgegenzuwirken, wird die Reihenfolge der Versuchsbedingungen vollständig ausbalanciert (*Within-subjects Design*).

Neben dem Versuchsleiter ist während der jeweils ca. eineinhalbstündigen Evaluation ein Assistent anwesend, der zusätzliche Versuchsdaten (z. B. Aktivitäten der Probanden bei der Aufgabenbearbeitung) mit standardisierten Beobachtungsprotokollen erhebt. Zu Beginn eines jeden Versuchsdurchlaufs wird vom Versuchsleiter standardisiert je nach Startsystem eine Einführung in die Benutzungsschnittstelle gegeben. Hierbei werden beispielsweise einzelne Ansichten wie Übersichtsbild, Head-Up-Display und Detailansicht und auch die Interaktionsmöglichkeiten auf den Displaysegmenten vorgestellt. Im Anschluss daran folgt eine Explorationsphase, in der der Teilnehmer die Interaktions- und Visualisierungskonzepte kennenlernen kann. Während dieser Phase erhält der Teilnehmer bei Bedarf Unterstützung vom Versuchsleiter. Dann bearbeiten die Probanden jeweils sechs Aufgaben, z. B.: „Verfolgen Sie die gelbe U-Bahn-Linie, ausgehend von ihrem Süden (Rattlesnake Canyon), bis zu ihrem anderen Ende, und finden Sie alle Störungen darauf. Bei diesem Durchgang versuchen Sie bitte, die Aufgabe so schnell wie möglich zu beenden.“, mit dem *Experimental-* und *Kontrollsystem*.

Die Teilnehmer müssen zunächst die Problemursache diagnostizieren. Hierfür benötigen die Teilnehmer beispielsweise zusätzliche Detailinformationen zu den einzelnen Stationen. Teilweise kann die Diagnosetätigkeit auch nur durch die Information über das Head-Up-Display gelöst werden. Konkret muss beispielsweise die Ursache der Verzögerung in einer Station genannt werden: „Welches Problem liegt in der Station Central Station vor?“ Darüber hinaus wird geprüft, ob das Auffinden von Störungen mit Hilfe der Miniaturkartenübersicht und der dreidimensionalen *Domes* unterstützt wird.

Im Anschluss an jeden Durchgang werden die subjektiven Einschätzungen durch einen Evaluationsfragebogen erfasst. Darauf folgend wird den Teilnehmern ein Fragebogen zur ganzheitlichen Erhebung vorgelegt, um den Gesamteindruck des Systems zu erfragen. Hierbei wird das grundlegende Konzept der Benutzungsschnittstelle in Verbindung mit dem *Curve-Display* bewertet. Abschließend wird ein Interview geführt, in dem die Probanden ihr präferiertes System angeben und

ihre Wahl begründen können. Zum Abschluss haben die Versuchsteilnehmer die Möglichkeit zur offenen Diskussion.

Methoden zur Datenerhebung

Für die Datenerhebung in der experimentellen Benutzerstudie sind neben qualitativen auch quantitative Methoden angewendet worden, die im Folgenden erläutert werden.

Logging der Interaktionswege – Hierbei werden die zurückgelegten Interaktionswege der Versuchsteilnehmer erfasst. Diese werden zur Auswertung in Trajektorien überführt, um die Systemvarianten gegenüberzustellen. Darüber hinaus wird bei jeder Aufgabe die Bearbeitungszeit protokolliert.

Fragebogen – Wie in den Evaluationen der Abschnitte zuvor werden zur subjektiven Bewertung eigens entwickelte Fragebögen eingesetzt. Die Bewertung der einzelnen Kriterien wird jeweils nach dem Durchgang auf einer Fünf-Punkte-Likert-Skala abgefragt. Zum Abschluss wird im Fragebogen zum Gesamtsystem eine Sieben-Punkte-Likert-Skala verwendet.

Teilnehmende Beobachtung – Als zusätzliche qualitative Datenerhebungsmethode wird die teilnehmende Beobachtung eingesetzt, die in Form von offenen Beobachtungen mit der *Thinking Aloud-Methode* (Someren et al., 1994) geschieht. Die Daten werden mit Hilfe halbstandardisierter Beobachtungsleitfäden erhoben.

Interview – Die Befragung wird wie auch in den vorangegangenen Evaluationen in halbstandardisierter Form mit den Probanden geführt. Dabei wird das Schema mit Leitfrage, Aufrechterhaltungsfrage und abschließender Nachfrage nach Helfferich (2005) angewendet.

Stichprobe

Die vier weiblichen und acht männlichen Probanden sind durchschnittlich 30.67 Jahre alt ($SD = 6.38$). Unter den Probanden ist ein Operator, der im Bereich der Überwachung von U-Bahnnetzen tätig ist. Vier weitere Testteilnehmer arbeiten als Usability-Experten und haben Erfahrung bei der Gestaltung von Benutzungsschnittstellen im Kontext von Leitwarten gesammelt. Weiterhin nehmen eine Studentin aus dem Bereich des Industriedesigns, zwei wissenschaftliche Mitarbeiter mit Schwerpunkt der Medieninformatik sowie vier Studenten der Informatik mit erweiterten Kenntnissen in der Entwicklung von grafischen Benutzungsschnittstellen teil. Alle Versuchspersonen haben bereits Erfahrung mit Touchscreen-Interaktion – meist durch die Nutzung von Smartphones. Ferner geben alle Probanden an, bereits Erfahrung mit internetbasierten Kartennavigationsystemen wie Google Maps gesammelt zu haben.

Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Interaktionslogging, die gemessene Zeit während der Aufgabebearbeitung, die subjektive Einschätzung der Probanden und der teilnehmenden Beobachtung detailliert beschrieben. Alle Signifikanzen gelten für ein Signifikanzniveau von $p < .05$.

Logging der Interaktionswege – Die zurückgelegten Wege während der Interaktionen werden zu Analysezwecken in grafische Trajektorien überführt. Die Analyse der Daten zeigt wiederkehrende Muster im Nutzerverhalten. Im *Experimentalsystem (3D)* (siehe Abbildung 104a, grüne Markierung) werden bei der Navigation im Prozessbild deutlich mehr Wege abgekürzt als in der *Kontrollbedingung (2D)* (siehe Abbildung 104b, grüne Markierung). Der rot markierte Bereich zeigt eine Abkürzung in beiden Varianten, das lässt darauf schließen, dass sich die Probanden in diesem Bereich über die Mini-Kartendarstellung orientiert haben. Jedoch zeigt die Analyse der Punktmuster, dass in der *Kontrollbedingung* die Punkte sehr viel dichter beieinanderliegen, was auf eine längere Zeit bei der Navigation hindeutet. Werden vom Teilnehmer langsame Bewegungen ausgeführt, so ist die Trajektorie dichter mit Punkten versehen.

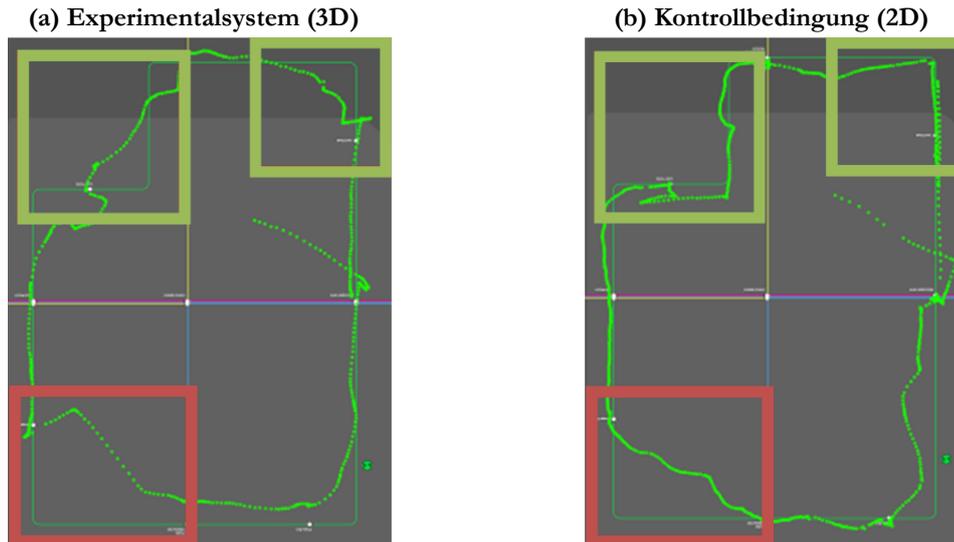


Abbildung 104 Aufgezeichnete Interaktionswege bei einer Aufgabe

(a) Abkürzungen der Interaktionswege im Experimentalsystem (grüne Markierung), Darstellung eines schnelleren Bewegungsmusters im Experimentalsystem (rote Markierung); (b) Darstellung der Interaktionswege in der Kontrollbedingung

Bearbeitungszeit – In der zweiten von sechs Aufgaben müssen die Teilnehmer unter Zeitdruck diagnostizieren (siehe Abbildung 105). Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wird beim *Experimentalsystem* auf die Farbcodierung der dreidimensionalen *Domes* verzichtet. Diese werden grau eingefärbt, da sonst bei der Aufgabenbearbeitung beim *Experimentalsystem* die Stationen mit grüner Färbung, d. h. Stationen ohne Störung, übersprungen werden könnten. Mit der Neutralität der Farbgebung sind die Versuchsteilnehmer gezwungen, jede Station zu betrachten, um eine mögliche Störung zu identifizieren. Die Auswertung der Zeitintervalle zeigt, dass die Probanden mit dem *Experimentalsystem* durchschnittlich 43.14 s ($SD = 11.39$) weniger Zeit benötigen als in der *Kontrollbedingung* mit 47.14 s ($SD = 19.42$). Jedoch ist der Unterschied nicht signifikant ($p = .403$).

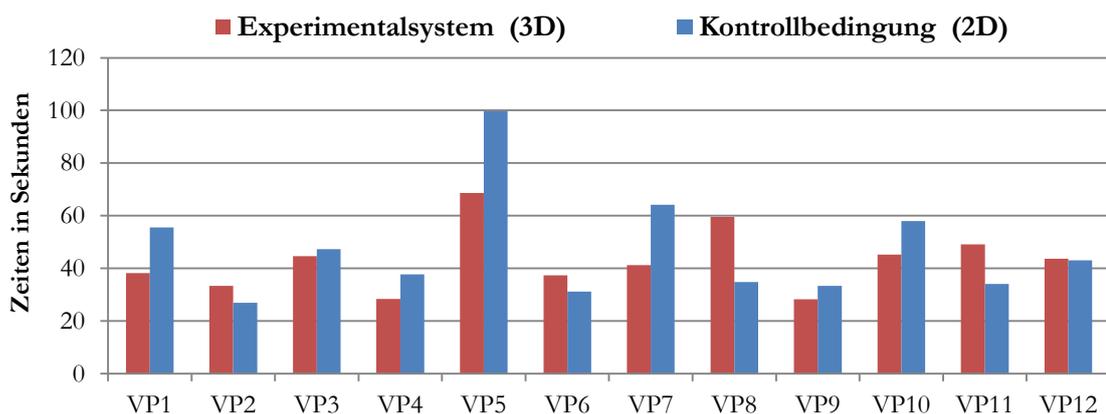


Abbildung 105 Vergleich der Bearbeitungszeit von allen Versuchspersonen (VP)

Im Folgenden werden bestimmte Effekte innerhalb der jeweiligen Startvariante (*Experimentalsystem* oder *Kontrollbedingung*) betrachtet. Die gemessenen Zeiten für die Bearbeitung sind beinahe identisch. Bei der detaillierten Betrachtung des zweiten Durchgangs zeigt sich, dass 75% der Probanden unabhängig von der Variante die Aufgabe schneller bearbeitet haben. Im Durchschnitt benötigen sie 16.2 s weniger Zeit. 66% der Probanden sind im zweiten Durchlauf schneller (durchschnittlich 13.1 s weniger), wenn sie mit dem *Experimentalsystem* gestartet sind. Sogar 83% der Probanden sind im zweiten Durchlauf mit der *Kontrollbedingung* schneller, sie benötigen durchschnittlich 18.68 s we-

niger Zeit. Die Lernkurven bestätigen sich auch in den Aussagen der Teilnehmer, die immer wieder darauf hingewiesen haben, dass es *spürbare Lerneffekte* gibt.

Subjektive Einschätzung – Im Folgenden werden die Ergebnisse der Evaluationsbögen, in denen die subjektiven Einschätzungen der Probanden erfasst worden sind, berichtet. Zur Überprüfung von signifikanten Unterschieden wird der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test eingesetzt. Jedoch ergeben sich im direkten Vergleich zwischen dem *Experimentalsystem* und der *Kontrollbedingung* keine signifikanten Unterschiede. Die Bedienkonzepte werden weitestgehend bei beiden Varianten positiv bewertet (*Experimentalsystem*: $Md = 1$; $M = 1.17$, $SD = 0.72$; *Kontrollbedingung*: $Md = 1$; $M = 1.33$, $SD = 0.49$; Skala von -2 *sehr verwirrend* bis 2 *sehr verständlich*). Abbildung 106 verdeutlicht die Zustimmung der Probanden.

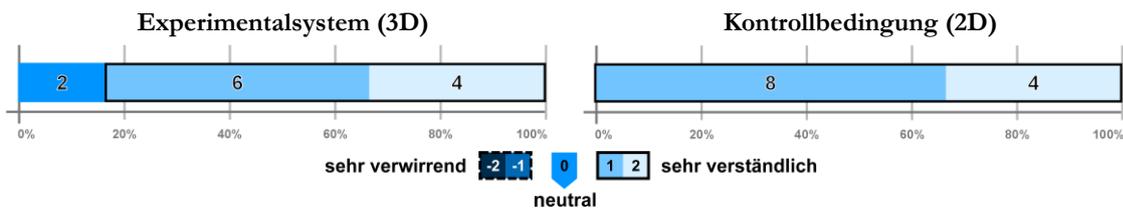


Abbildung 106 Bewertung der Bedienkonzepte³³

Einige Probanden geben explizit an, dass die dreidimensionale Visualisierung des *Experimentalsystems* eine *sehr gute Übersicht* über den Informationsraum bietet. Bei der Frage, ob die Kartenvisualisierung verständlich sei, schneidet das *Experimentalsystem* mit $Md = 1.5$ ($M = 1.42$, $SD = 0.67$) im Gegensatz zur *Kontrollbedingung* mit $Md = 1$ ($M = 1.17$, $SD = 0.72$) auf einer Skala von -2 *sehr verwirrend* bis 2 *sehr verständlich* etwas besser ab (siehe Abbildung 107).

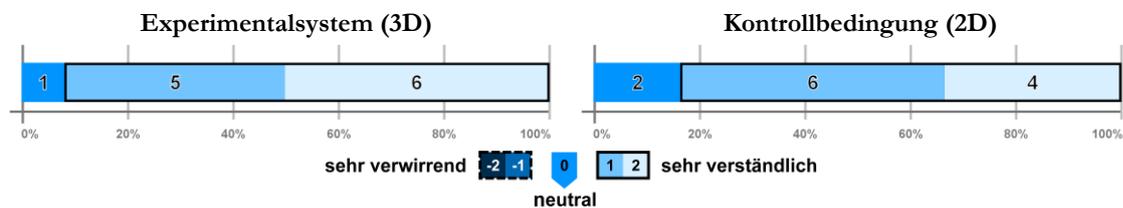


Abbildung 107 Bewertung der Kartenvisualisierung

Ein Proband, der mit der *Kontrollbedingung* angefangen hat, sagt beim ersten Blick auf das *Experimentalsystem* Folgendes: „Ja, das sieht schon viel besser aus.“ Im Durchschnitt bewerten die Probanden die Orientierung im Netzplan mit dem *Experimentalsystem* ($Md = 1$; $M = 0.75$, $SD = 1.06$; Skala von -2 *sehr verwirrend* bis 2 *sehr verständlich*) im Vergleich zur *Kontrollbedingung* ($Md = 1$; $M = 0.92$, $SD = 0.90$) annähernd identisch (siehe Abbildung 108).

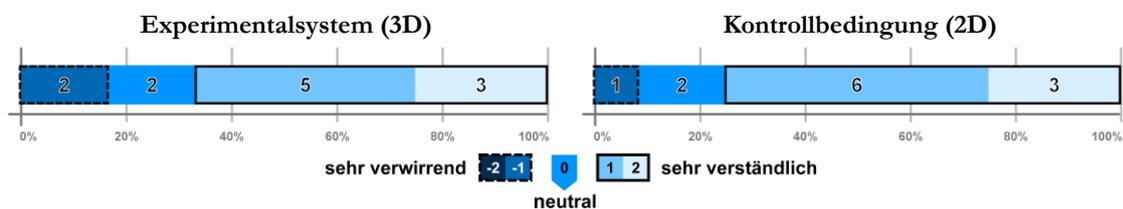


Abbildung 108 Bewertung der Orientierung

Ein Teilnehmer, der mit dem *Experimentalsystem* begonnen hat, gibt an, dass es mit der *Kontrollbedingung* bei der Diagnose der Problemursache „viel schwieriger ist, Abkürzungen zu nehmen.“ Ein anderer

³³ Die grafische Aufbereitung der Likert Skalen in Abschnitt 5.2.6 erfolgt mit Plot Likert Scales (<http://www.likertplot.com>, zuletzt aufgerufen am 28.05.2014).

bestätigt, dass ihm die Orientierung in der *Kontrollbedingung* „schwerfällt“. Jedoch geben auch einige Probanden auf Nachfrage als Grund für die mangelnde Orientierung an, dass der verwendete Netzplan relativ umfangreich sei. Obwohl das Konzept eine ungewöhnliche Selektion einer Station über den statischen Fokus beinhaltet, finden die Teilnehmer den Mechanismus verständlich.

Hierbei werden das *Experimentalsystem* auf einer Skala von -2 *sehr verwirrend* bis 2 *sehr verständlich* mit $Md = 1.5$ ($M = 1.42$, $SD = 0.67$) und die *Kontrollbedingung* mit $Md = 1$ ($M = 1.08$, $SD = 0.79$) bewertet. Das *Experimentalsystem* wird besser beurteilt (siehe Abbildung 109), obwohl aufgrund des Konzeptes eine längere Strecke zur Selektion einer Station zurückgelegt werden muss.

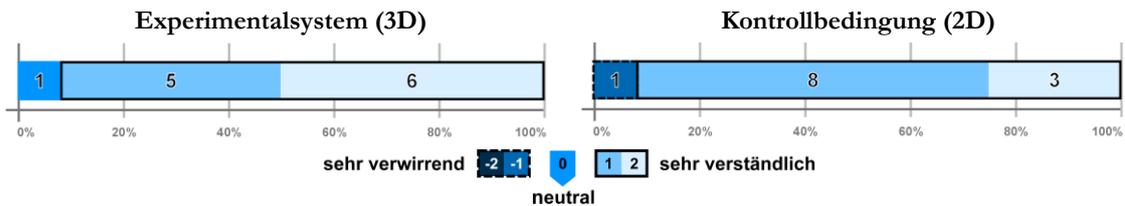


Abbildung 109 Bewertung der Selektion einer Station

Die Konzentration, die zur Navigation im Netzplan aufgewendet werden muss, wird im *Experimentalsystem* mit $Md = 1$ ($M = 0.33$, $SD = 0.85$; Skala von -2 *sehr viel Konzentration* bis 2 *sehr wenig Konzentration*) und in der *Kontrollbedingung* mit $Md = 0.5$ ($M = 0.50$, $SD = 0.80$) bewertet (siehe Abbildung 110).

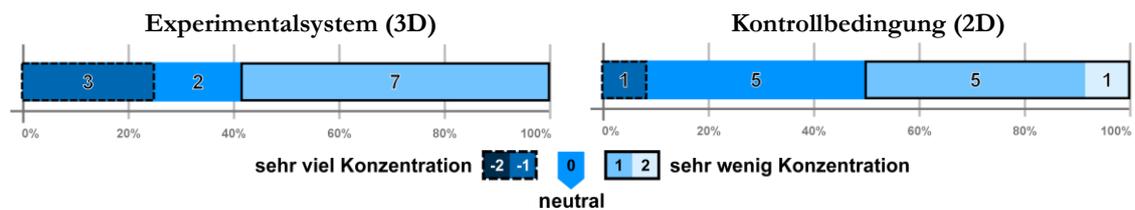


Abbildung 110 Bewertung der Navigation

Bezogen auf die Übersichtlichkeit im Informationsraum während der Interaktion, ergeben die subjektiven Antworten der Fragebögen eine Bewertung für das *Experimentalsystem* von $Md = 1$ ($M = 0.75$, $SD = 0.92$; Skala von -2 *trifft überhaupt nicht zu* bis 2 *trifft voll zu*) und für die *Kontrollbedingung* einen Wert von $Md = 0$ ($M = 0.33$, $SD = 0.89$). Die Probanden sind beim *Experimentalsystem* der Meinung, die Informationen besser im Blick zu haben (siehe Abbildung 111).

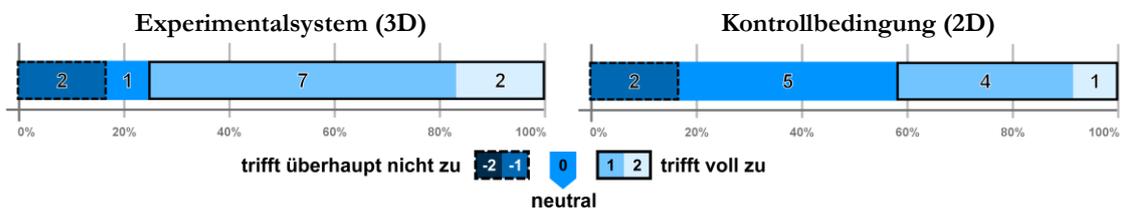


Abbildung 111 Bewertung der Übersicht im Informationsraum

Im Durchschnitt bewerten die Versuchsteilnehmer die Mini-Kartenübersicht zur Unterstützung der Orientierung mit dem *Experimentalsystem* ($Md = 2$; $M = 1.42$, $SD = 0.79$; Skala von -2 *sehr gestört* bis 2 *sehr geholfen*) im Vergleich zur *Kontrollbedingung* ($Md = 2$; $M = 1.33$, $SD = 1.23$) ähnlich positiv. In beiden Varianten wird die Kartendarstellung jeweils von zehn Probanden als hilfreich bei der Orientierung im Netzplan bewertet (siehe Abbildung 112). Auf Nachfrage wird bestätigt, dass die mentale Repräsentation zwischen Übersichtsbild auf dem horizontalen Segment und der Mini-Kartendarstellung im Head-Up-Display mühelos verstanden wird.

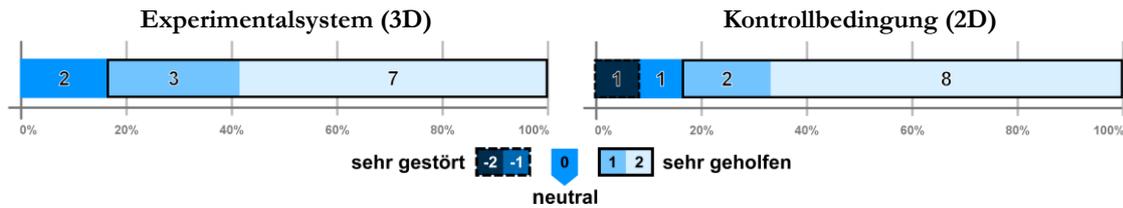


Abbildung 112 Bewertung der Mini-Kartendarstellung

Im direkten Vergleich geben bei der Frage nach der besseren Unterstützung bei der Aufgabenerfüllung sieben Teilnehmer das *Experimentalsystem* als bessere Variante an. Eine Versuchsperson bewertet die Konzepte gleich. Vier der zwölf Probanden bevorzugen die *Kontrollbedingung*.

Die Begründung hierfür fällt unterschiedlich aus. So geben vier Teilnehmer an, dass die perspektivische Erweiterung in Verbindung mit den dreidimensionalen *Domes* für die positive Bewertung des *Experimentalsystems* ausschlaggebend ist. Drei andere Teilnehmer geben in der Begründung an, dass die Übersichtlichkeit und die dadurch einfachere Navigation so wie die bessere Positionierung des Head-Up-Displays die Entscheidung für das *Experimentalsystem* positiv beeinflusst haben.

Nach der Vorstellung der Ergebnisse im direkten Vergleich der beiden Varianten wird im Folgenden die Rückmeldung der Probanden für das *Experimentalsystem* berichtet.

Perspektivische Erweiterung der Übersicht – Die Erweiterung der Visualisierung wird von den Probanden sehr positiv bewertet. Die Probanden sind der Meinung, dass durch die Vergrößerung der Anzeigefläche eine sehr gute Übersicht über das Prozessbild ermöglicht wird.

Der Experte aus dem Bahnkontext gibt an, dass die zusätzliche Anzeigefläche des vertikalen Bereichs bei der Diagnose einen großen Mehrwert bietet. Das Konzept passt sich dem Arbeitsablauf an, indem während der Interaktion auf der Übersicht ein möglichst großer Raum für die Visualisierung von Prozessinformationen zur Verfügung steht. Bei überwachenden und beobachtenden Tätigkeiten hingegen müssen alle Meldungen gut sichtbar sein, um effizient reagieren zu können.

Dreidimensionale Domes – Neben der dreidimensionalen Erweiterung des Prozessbilds können die *Domes* vielversprechende Ergebnisse erreichen (siehe Abbildung 113). So sind sich die Teilnehmer einig, dass sie durch die *Domes* bei der Orientierung unterstützt worden sind ($Md = 1$; $M = 1.42$, $SD = 0.51$; Skala von -2 *sehr schlecht* bis 2 *sehr gut*).

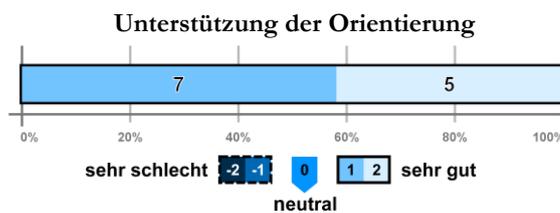


Abbildung 113 Bewertung der dreidimensionalen Domes im Experimentalsystem

Zusätzlich geben neun der zwölf Teilnehmer während der Bearbeitung der Aufgaben an, dass die *Domes* sehr hilfreich sind, um sich im großen Netzplan zu orientieren (Zitat: „*Ich habe das Gefühl, bei dieser Version schneller zu arbeiten.*“). Weiterhin sagt ein Proband während des Durchgangs mit der *Kontrollbedingung*: „*Die Farbcodierung war vorher [im Experimentalsystem] sehr wichtig, ich habe einfach die Stationen ohne Störung übersprungen.*“

Head-Up-Display – Für die schnelle Diagnose stellt sich das Head-Up-Display als sehr wertvolles Hilfsmittel heraus. Die Probanden gewöhnen sich während der Bearbeitung der Aufgaben sehr schnell an die Projektion der selektierten Station und an die textuelle Information wie die Visualisierung der Ursache für eine Störung. Das geben die Teilnehmer auch im Abschlussinterview an. Begründet wird es damit, dass die zweidimensionale Projektion der detailreichen Strukturen aus der Übersicht im Head-Up-Display eine sehr sinnvolle Lösung sei, da alle wichtigen Informationen auf einen Blick zu sehen sind (Zitat: „*Ich erkenne sofort, was an der Station los ist.*“). Wie bereits zuvor im Vergleich der beiden Varianten beschrieben, wird die Selektion der Station im *Experimentalsystem* von den Probanden als intuitives Konzept bewertet. Die Station zur Selektion muss schräg hinter dem Head-Up-Display positioniert werden. Die Auswertung der Beobachtungsbögen ergibt keine Auffälligkeiten im Hinblick auf häufige Fehlbedienungen.

Touch-Interaktion auf den Displaysegmenten – Die eigentliche Interaktion, das Bewegen des Prozessbilds bei Diagnosesetätigkeiten findet, auf dem horizontalen Displaysegment statt. Auf der vertikalen Fläche müssen lediglich kurze Interaktionsschritte ausgeführt werden wie die Auswahl einer Meldung. Bei der Frage danach, ob die Touch-Interaktion auf horizontalen ($Md = 3$; $M = 2.50$, $SD = 0.65$; Skala von -3 *trifft gar nicht zu* bis 3 *trifft absolut zu*) beziehungsweise vertikalen ($Md = 2$; $M = 2.00$, $SD = 0.91$) Arbeitsebenen sinnvoll sei, geben die Probanden in beiden Fällen eine positive Rückmeldung. Allerdings schneidet die Interaktion auf der horizontalen Arbeitsfläche in der Bewertung besser ab als auf der vertikalen (siehe Abbildung 114). Dabei ist der Unterschied zwischen der horizontalen und vertikalen Interaktion statistisch signifikant ($Z = -2.45$, $p = .014$).

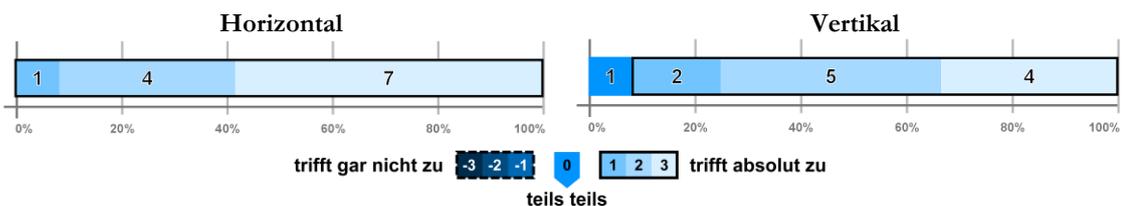


Abbildung 114 Bewertung der Touch-Interaktion auf den Displaysegmenten

Das bestätigen auch die Aussagen, die im Rahmen der teilnehmenden Beobachtung aufgenommen worden sind. Die Armhaltung während der vertikalen Interaktion erfordert nach Aussagen der Probanden eine stärkere Beanspruchung der Muskulatur.

Kombination der Arbeitsfläche – Die Kombination aus horizontalen und vertikalen Displays für Überwachungs- und Diagnosesetätigkeiten in der Arbeitsumgebung wird von den Studienteilnehmern als sinnvoll erachtet. Abbildung 115 zeigt die Bewertung der Verbindung von horizontaler und vertikaler Arbeitsfläche (Horizontal: $Md = 3$; $M = 2.50$, $SD = 0.65$; Vertikal: $Md = 3$; $M = 2.25$, $SD = 0.83$; Skala von -3 *trifft gar nicht zu* bis 3 *trifft absolut zu*).

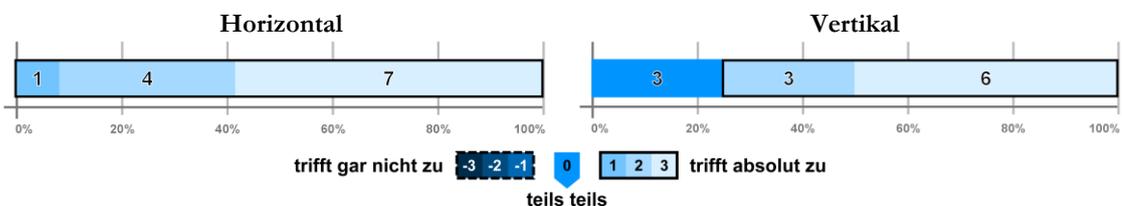


Abbildung 115 Bewertung der Verbindung von horizontaler und vertikaler Arbeitsfläche

Die sinnvolle Kombination der Anzeigeflächen wird vor allem von den Experten aus dem Leitwartkontext während der Bearbeitung von Aufgaben zurückgemeldet.

Verbesserungspotenzial – Die *Drag & Drop*-Geste über das Kurvensegment hinweg zum Öffnen von Detailinformationen wird von den Probanden als zu umständlich bewertet, da der Arbeitsschritt sehr viel Zeit benötigt. Das bestätigt sich auch in der teilnehmenden Beobachtung. Statt die lokale Detailansicht mittels *Drag*-Geste zu öffnen, navigiert die Hälfte der Teilnehmer, wenn möglich, über die globale Meldungsliste auf der vertikalen Anzeigefläche zu den Detailinformationen.

Bei der Selektion einer Station im Fokuspunkt erwarten einige Probanden die automatische Anzeige der Detailinformationen. Die automatische Öffnung ist im Rahmen der iterativen Gestaltungsphase getestet und wieder verworfen worden, da die Benutzungsschnittstelle dadurch sehr unruhig wirkt. Dieser Lösungsansatz müsste von den Experten bewertet werden, um gegebenenfalls ein alternatives Konzept zu gestalten. Im jetzigen Konzept muss der Nutzer die Detailinformationen aktiv auswählen und bekommt somit ein deutlicheres Feedback.

Nach Aussagen der Probanden sollte die Farbcodierung der *Domes* auf die Miniaturkartenübersicht übertragen werden, um eine noch schnellere Bearbeitung von Störungen zu erreichen (Zitat: „*Warum werden die Farben der Störungen nicht in der Mini-Map dargestellt?*“). Die *Domes* sollten bei der Skalierung des Netzplans durch den Nutzer proportional verkleinert werden, um nicht zu viel des Informationsraums zu überdecken.

5.2.7 Diskussion und Fazit

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass das entwickelte Interaktions- und Visualisierungskonzept eine sinnvolle Unterstützung bei Überwachungs- und Diagnosesetätigkeiten im *Private Space* bietet. Ziel des entwickelten Konzepts ist es, die heute vorherrschenden getrennten Ansichten der Prozessvisualisierung sowohl *visuell* und *haptisch* als auch *mental* zu verbinden.

Die Daten der Studie geben Auskunft darüber, dass die Versuchsteilnehmer mit der neuartigen Visualisierung auf einem vertikal gebogenen Display gut zurechtgekommen sind, und das, obwohl die Umsetzung mit der dreidimensionalen perspektivischen Erweiterung im Gegensatz zu vorherrschenden Anwendungen im Kontext der Kartennavigation (Google Maps) oder im Leitwartenkontext (Expertensysteme) zur Prozessüberwachung völlig neu ist. Große Zustimmung wird in Bezug auf die Qualität der Kartenvisualisierung und der dreidimensionalen farbcodierten *Domes* geäußert. Gerade die *Domes* werden von den Teilnehmern als besonders wichtig bewertet.

In der *Kontrollbedingung* müssen sich die Probanden bei den Diagnoseaufgaben stark am Verlauf des Netzplans orientieren. So zeigen die Ergebnisse, dass die farbcodierten *Domes* nicht nur in einer dreidimensionalen Darstellung, sondern auch in der *Kontrollbedingung* sinnvoll sind. Dies wird bereits in den Konzepten von Klump et al. (2002) und Pramsöhler et al. (2010) umgesetzt, indem dreidimensionale Säulen in zweidimensionale Übersichtsbilder integriert werden (siehe Abschnitt 5.2.2).

Durchschnittlich benötigen die Probanden in der Aufgabe mit zeitlichem Druck beim *Experimentalsystem* vier Sekunden weniger Zeit als in der *Kontrollbedingung*. Der Unterschied ist zwar statistisch nicht signifikant, aber insofern bemerkenswert, da die perspektivische Erweiterung des Prozessbilds und die damit verbundene ungewöhnliche Visualisierung neuartig für die Probanden sind.

Der Operator aus dem Kontext der Überwachung von U-Bahnnetzen gibt an, dass die Visualisierung der wichtigsten Detailinformationen im Head-Up-Display in den meisten Situationen völlig ausreicht. Gründe hierfür sind das Prozesswissen und die Vorerfahrung der Operatoren. Das Head-Up-Display unterstützt sowohl durch die Visualisierung von Detailinformationen als auch durch die Mini-Kartenübersicht bei der Orientierung.

Darüber hinaus geben sieben Versuchsteilnehmer an, dass das *Experimentalsystem* sie bei der Aufgabenerfüllung besser unterstützt hat. Weiterhin bestätigt die subjektive Einschätzung den positiven Eindruck der Kartenvisualisierung sowie das Gefühl, stets einen guten Überblick über die relevanten Informationen zu haben. Dieses Ergebnis deutet auf eine optimierte Lenkung in Bezug auf den

visuellen Fokus hin. Die Analyse der Trajektorien von Interaktionswegen im Prozessbild verdeutlicht, dass die Probanden im *Experimentalsystem* durch die perspektivische Erweiterung in Verbindung mit den dreidimensionalen *Domes* unnötige Teilstrecken vermieden haben, was eine effizientere Diagnose der Problemursache ermöglicht. Jedoch zeigten die Ergebnisse, dass sowohl die Orientierung als auch die Konzentration bei Navigationstätigkeiten im *Experimentalsystem* nicht entscheidend verbessert werden konnte. Die erhöhte Konzentration bei der Navigation ist auf die perspektivische Erweiterung zurückzuführen. So geben einige Probanden als Begründung im Abschlussinterview an, dass die geringe Komplexität der Visualisierung in der *Kontrollbedingung* ausschlaggebend für die geringe Konzentration war.

Die Unterschiede in der Bewertung der körperlichen Anstrengung bei der Interaktion auf den unterschiedlichen Displaysegmenten sind minimal, was darauf schließen lässt, dass die Interaktion wohlbedacht auf die Arbeitsebenen verteilt worden ist.

Mit der perspektivischen Erweiterung des Prozessbilds in Verbindung mit dem Head-Up-Display im Kurvenbereich wird ein erster Ansatz vorgestellt, wie ein Overview+Detail-Visualisierungskonzept auf eine vertikal gebogene Anzeigefläche übertragen werden kann. So kann das vorgestellte Konzept durch die perspektivische Erweiterung ein erheblich größeres Prozessbild darstellen. Des Weiteren unterstützen die dreidimensionalen *Domes* die Diagnosetätigkeiten. Auch das Head-Up-Display, das bewusst im Übergang der Arbeitsflächen platziert wird, zeigt sich als geeignetes Hilfsmittel, um wichtige Detailinformationen und die Miniaturkartenübersicht anzuzeigen. Die Ergebnisse der Untersuchung mit Bezug auf die Forschungsfrage (*F1*) zeigen, dass das entwickelte Konzept als erster Ansatz gesehen werden kann, die derzeit getrennten Displaybereiche nicht nur physikalisch, sondern auch semantisch nahtlos zusammenzuführen.

Eine Einschränkung hat die aktuelle Umsetzung der Visualisierung bezüglich der korrekten perspektivischen Darstellung des Prozessbilds relativ zum Operator. Das Konzept wird nur für einen Operator ausgelegt, da lediglich eine Kopfposition korrekt perspektivisch dargestellt werden kann. Wenn also zwei Operatoren gleichzeitig, z. B. bei einer kooperativen Diagnosetätigkeit, mit der Anwendung arbeiten, muss entweder einer von beiden als Referenzpunkt dienen oder das Modell der Visualisierung müsste zwischen ihnen interpoliert werden. Darüber hinaus müsste im Rahmen des kooperativen Arbeitens auch die Interaktion auf der Kartendarstellung angepasst werden.

Die Ergebnisse sollten im Rahmen einer größeren Versuchsanordnung mit Experten aus dem Leitwartenkontext mit einem *Between-subjects Design* zusätzlich validiert werden. Dabei ist gerade der reale Nutzungskontext wichtig, um die ökologische Validität festzustellen.

6 Manipulation und Dokumentation

Inhalt

6.1	Design Case III: Manipulation.....	170
6.1.1	Motivation.....	171
6.1.2	Grundlagen – (Be)greifbare Benutzungsschnittstellen	173
6.1.3	Vorstudie zur Identifikation der Designanforderungen	178
6.1.4	Interaktions- und Visualisierungskonzept.....	179
6.1.5	Evaluation	185
6.1.6	Diskussion und Fazit.....	203
6.2	Design Case IV: Dokumentation	206
6.2.1	Motivation.....	207
6.2.2	Grundlagen – Verbindung von physischen und digitalen Dokumenten	208
6.2.3	Interaktions- und Visualisierungskonzept.....	211
6.2.4	Evaluation	214
6.2.5	Diskussion und Fazit.....	217

Nachdem im vorherigen Abschnitt die Unterstützung primär für die Überwachungs- und Diagnostizitätigkeiten dargelegt worden ist, werden in den folgenden Abschnitten die direkten manuellen Prozesseingriffe und auch deren Dokumentationen im *Private Space* betrachtet. Die aktiven Eingriffe in den technischen Prozess durch den Operator erfordern die Manipulation von realen physikalischen Größen wie beispielsweise Druck und Durchfluss, die in Form von metaphorischen Visualisierungen der Variablen (z. B. eines Ventils) dargestellt werden. Das Eingreifen des Operators ist eine bewusste Bedienhandlung, die die volle Aufmerksamkeit bei gleichzeitiger Analyse des Prozesszustands und der Variablenänderung abverlangt. Der Prozesseingriff sollte daher nach Martin (1995) als ein kohärentes multimodales Ereignis wahrgenommen werden, um durch das Einbeziehen der Sinne entsprechende Orientierung geben zu können. In Anbetracht der aktuellen Situation in Leitwarten können neue Interaktionstechnologien aus dem Bereich der (bei)greifbaren Benutzungsschnittstellen einen entscheidenden Beitrag leisten, um den Operator bei manuellen Prozesseingriffen zu unterstützen.

Trotz integrierter Arbeitsabläufe finden immer noch Medienbrüche zwischen der analogen und digitalen Welt statt, da heute sehr viel handschriftlich von den Operatoren notiert wird. Neben einfachen Notizen mit Stift auf Papier, die sich die Operatoren in alltäglichen Prozesssituationen erstellen, werden immer noch Schichtbücher analog geführt. Der Grund liegt darin, dass zum einen rechtliche Vorgaben zur physischen Existenz von Papierdokumenten beachtet werden müssen, und zum anderen darin, dass das Schreiben mit Stift auf Papier dem mit der Tastatur vorgezogen wird.

Schließlich wird der Umgang mit dem Stift vom Menschen bereits im frühen Kindesalter erlernt. Motiviert durch den historischen Ursprung, der zum einen die Manipulation einer Prozessvariablen in der manuellen Maschinenbedienung und zum anderen die elementare Form des Schreibens mit Stift und Papier umfasst, die seit Jahrhunderten Bestand hat, soll folgende Fragestellung in diesem Kapitel beantwortet werden:

(F4) Wie lassen sich nutzerzentrierte Interaktions- und Visualisierungskonzepte für die Manipulations- und Dokumentationstätigkeiten unter Berücksichtigung aktueller Trends der MCI gestalten?

In diesem Zusammenhang werden im ersten Teil des Kapitels neue Touch- und Tangible-Bedienformen vorgestellt, die sich in der Gestaltung an realitätsbasierte Interaktionsformen anlehnen. Ziel dabei ist es, manuelle Eingriffe in den technischen Prozess in Verbindung mit den Zustandsänderungen so zu gestalten, dass der Operator ein nachvollziehbares und nachhaltiges Ereignis wahrnimmt. Die Konzepte zur Manipulation von Prozessvariablen werden anhand eines *Design Case* aus dem Kraftwerkskontext (Energiegewinnung) erläutert. Die Akzeptanz wird im Rahmen einer experimentellen Benutzerstudie evaluiert. Im zweiten Teil des Kapitels werden die entwickelten Interaktions- und Visualisierungskonzepte beschrieben, die die Operatoren bei ihren Dokumentationstätigkeiten unterstützen. Dabei wird die Datenerfassung durch die Digital-Pen & Paper-Technologie ebenfalls anhand eines *Design Case* aus dem Kraftwerkskontext vorgestellt. Die natürliche und gewohnte handschriftliche Erfassung von Prozessdaten mit analogem Stift auf Papier soll mit den Möglichkeiten der digitalen Informationsverarbeitung erweitert werden. Die Konzepte sind mit Experten aus den Leitwarten diskutiert worden.

6.1 Design Case III: Manipulation

Das Hauptaugenmerk bei der Gestaltung der Konzepte liegt in einer nachvollziehbaren Manipulation von Prozessvariablen (siehe Abbildung 116). Bei manuellen Prozesseingriffen muss die Interaktion eingängig, schnell und genau erfolgen. Grundsätzlich müssen bei der Gestaltung von realitätsbasierten Interaktionskonzepten die Dimensionen *Power* vs. *Reality* (Jacob et al., 2007) gegenübergestellt werden.

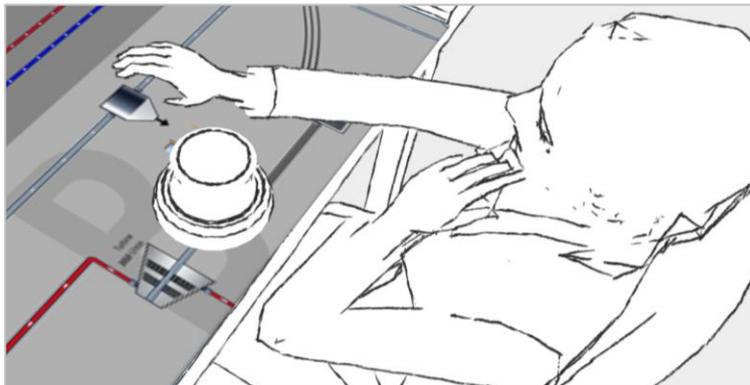


Abbildung 116 Konzept zur Manipulation von Prozessvariablen im Private Space

Space:	Private
Primärtätigkeit:	Manueller Prozesseingriff
Domäne:	Kraftwerk (Energiegewinnung)
Aufbau:	Interactive Tabletop
Arbeitsebene:	Horizontal

Denn Benutzungsschnittstellen, die sich vornehmlich an der realen Welt orientieren und digitale Funktionalitäten vollständig ausblenden, erleichtern eine nachvollziehbare Interaktion, verringern

aber eine effiziente Bedienweise. Aus diesem Grund werden Konzepte zur Manipulation von Prozessvariablen entwickelt, die sich im Grad des Realitätsbezugs an die analogen Stellteile (siehe Abschnitt 2.3.2) anlehnen. Die Konzepte unterscheiden sich durch physische Qualitäten und den Grad an digitaler Funktionalität.

Im Folgenden werden anhand des *Design Case* realitätsbasierte Interaktions- und Visualisierungskonzepte für die Manipulation von Prozessvariablen präsentiert. Die genauen Anforderungen der realitätsbasierten Konzepte basieren auf den Erkenntnissen einer Fokusgruppe, die in diesem Abschnitt berichtet werden. Ferner werden Ergebnisse einer experimentellen Benutzerstudie dargestellt, in der ein möglicher Wechsel hin zu neuen Interaktionsformen evaluiert wird.

Teile dieses Abschnitts sind bereits veröffentlicht worden in:

Müller, Jens; Schwarz, Tobias; Butscher, Simon; Reiterer, Harald: Back to tangibility: a post-WIMP perspective on control room design. In *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces – AVI '14*, Como (Italy), ACM Press, P. 57-64, May 2014.

Schwarz, Tobias; Müller, Jens; Butscher, Simon; Reiterer, Harald: Die Wiederentdeckung analoger Interaktionsqualitäten in der digitalen Leitwarte. In *i-com*, Oldenbourg Verlag, S. 25-33, November 2013.

Schwarz, Tobias; Müller, Jens; Butscher, Simon; Reiterer, Harald: Holistic Workspace – Neue Interaktionsformen für die Leitwarte der Zukunft. In *USEWARE 2012 – Mensch-Maschine-Interaktion (VDI-Berichte 2179)*, Kaiserslautern (Deutschland), VDI Verlag, S. 183-195, Dezember 2012.

Müller, Jens; Schwarz, Tobias; Butscher, Simon; Reiterer, Harald: Exploring former interaction qualities for tomorrow's control room design. In *Mensch & Computer 2012: interaktiv informiert – allgegenwärtig und allumfassend!?*, Konstanz (Deutschland), Oldenbourg Verlag, S. 377-380, September 2012.

Schwarz, Tobias; Müller, Jens; Butscher, Simon; Reiterer, Harald: Reality-based Interaction in Control Room. In *Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter Conference – HFSE '11 (Poster Session)*, Leeds (United Kingdom), October 2011.

Schwarz, Tobias; Heilig, Mathias; Butscher, Simon; Müller, Jens; Reiterer, Harald: Die Gestaltung der Arbeitsumgebung von Operatoren (k-) ein Platz für Innovationen? In *AUTOMATION 2011 (VDI-Berichte 2143)*, Baden-Baden (Deutschland), VDI Verlag, Juni 2011.

Bei der Bearbeitung des *Design Case* ist der Autor von einem studentischen Mitarbeiter der Universität Konstanz unterstützt worden. Der Autor ist für den ganzheitlichen Forschungskontext verantwortlich, und zwar Anforderungen, Interaktions- und Visualisierungskonzept sowie Durchführung der experimentellen Benutzerstudie im Labor. Jens Müller hat im Rahmen seiner Masterarbeit (Müller, 2012) bei der Gestaltung und Ausarbeitung des Interaktions- und Visualisierungskonzepts, der Implementierung sowie bei der Organisation, Durchführung und Auswertung der experimentellen Benutzerstudie mitgewirkt. Dabei hat Jens Müller während der Durchführung der Studie die Rolle des Versuchsleiters eingenommen.

6.1.1 Motivation

Einerseits macht die digitale Prozessführung die Überwachung von komplexen technischen Prozessen möglich, andererseits lässt sie in ihrer aktuellen Form keine sinnlich-körperliche Wahrnehmung (Hornecker, 2008) der Prozessdynamik zu. Diese Wahrnehmung ist aber wichtig, da sie dem Operator hilft, einen Überblick über den Prozess zu gewinnen. Von besonderer Bedeutung ist dabei der

Tastsinn bzw. das Fingerspitzengefühl. Nach Hornecker (1997) gehen die Operatoren nicht nur nach einer planerisch bzw. logisch strukturierten Strategie bei der Ausübung ihrer Tätigkeiten vor, sondern auch sinnliche Eindrücke, Emotionen und körperliche Sinne sind fest in der Verhaltensstruktur eines Menschen verankert. Gerade im Zuge der steigenden Automatisierung und Virtualisierung wird es dem Operator erschwert, die tatsächlich ablaufenden Prozesse durch das Erfahrungswissen zu steuern. Aus diesem Grund ist es für die Gestaltung einer Arbeitsumgebung essenziell, möglichst realistische Eigenschaften aus der realen Welt zu berücksichtigen, um so eine multisensorische Wahrnehmung zu ermöglichen. Dabei müssen die Übergänge zwischen den realen und begreifbaren Objekten und den korrespondierenden virtuellen Modellen in Verbindung gebracht werden (Hornecker, 2004). Die vorherrschenden Interaktionsparadigmen der Desktop-Metapher wie Maus und Tastatur berücksichtigen genau diese menschlichen Fähigkeiten bei der Interaktion mit Objekten nicht. Deshalb wird in den folgenden Konzepten die Umsetzung einer realitätsbasierten Manipulation von Prozessvariablen auf dem *Private Space* vorgestellt.

Als Anwendungsszenario wird der manuelle Eingriff in den Prozess im Energiegewinnungskontext betrachtet. Hierbei wird kontextspezifisch am Beispiel einer physikalischen Prozessgröße die Wertänderung ausgeführt. Maßgeblich für die Unterstützung der persönlichen Interaktion des Operators ist ein starker Prozessbezug zwischen ihm und den physikalischen Größen, so dass die manuellen Prozesseingriffe und die damit einhergehenden Zustandsänderungen nachvollziehbar und nachhaltig erlebbar sind. Die Grundidee ist, die Interaktionssituation so zu gestalten, dass sich diese an der Realität bzw. an den aus dem Alltag bekannten manuellen Stellteilen orientiert. So werden entsprechende Konzepte gestaltet, die eine direkte Bedienung ermöglichen. Als haptische Kontrollelemente werden Tangibles eingesetzt. Auch die Gestaltung der virtuellen Kontrollelemente, die sich durch direkte Touch-Interaktion bedienen lassen, wird an den Prinzipien und Funktionsweisen der realen Welt orientiert. Die grundlegenden Eigenschaften werden aus der realweltlichen Bedienbedingung mit physischen Stellteilen (z. B. Aufdrehen durch Drehbewegung) abgeleitet. Die virtuellen Kontrollelemente orientieren sich an den grundsätzlichen Merkmalen wie der visuellen Darstellung der physischen Objekte, jedoch werden sie entsprechend um die Möglichkeiten der digitalen Welt erweitert. Die Bedienung auf einem Tisch ist für die Manipulation von Prozessvariablen sinnvoll. Denn Tischformen sind in der strukturellen Arbeitsumgebung ein bewährtes sowie statisches Element. Durch die Kombination mit einem Wanddisplay (*Public Space*) lässt sich der zu überwachende Prozess in einen Manipulationsausschnitt aufteilen. Bei Manipulationsaufgaben handelt es sich bezüglich der Interaktion um eine deutlich aktivere Tätigkeit als die reinen Beobachtungen auf Wanddisplays.

Der Fokus dieses *Design Case* liegt auf der Beachtung der persönlichen Interaktion, um so während der manuellen Prozesseingriffe die Nachvollziehbarkeit sowie Geschwindigkeit der Interaktion zu fördern (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13 Unterstützung der Gestaltungsebenen in Design Case III

 Hauptfokus  Fokus  Berücksichtigt	
 Persönliche Interaktion	 Workflow
 Soziale Interaktion	 Physische Arbeitsumgebung

Für die Manipulation von Prozessvariablen wird im Folgenden ein Interaktions- und Visualisierungskonzept vorgestellt, das sich implizit an den realweltlichen Gestaltungsformen zur Bedienung von Benutzungsschnittstellen orientiert.

In diesem Zusammenhang wird im Abschnitt der Fragestellung nachgegangen:

Welche Auswirkungen haben realitätsbasierte Formen der Manipulation von numerischen Prozessvariablen im Leitwartenkontext?

Eine experimentelle Benutzerstudie mit den gestalteten Konzepten soll diese Frage beantworten. Dabei wird untersucht, welche Auswirkungen der Einsatz von realitätsbasierten Interaktionsformen gegenüber den traditionellen Eingabegeräten zur numerischen Wertemanipulation wie Maus und Tastatur hat.

6.1.2 Grundlagen – (Be)greifbare Benutzungsschnittstellen

Je nach Ausprägung der Interaktionsform erlauben unterschiedliche Technologien, die Informationen per Finger oder sonstigen physischen Objekten zu bearbeiten. Vor allem die greifbaren Benutzungsschnittstellen (TUIs) können verstärkt die körperlichen Fähigkeiten des Operators zur Manipulation einsetzen. Gerade das Zusammenwirken von digitalen Informationen und physischen Objekten bietet völlig neue, bessere Möglichkeiten für Interaktionskonzepte als bisherige Desktop-Systeme. Im Folgenden wird das Eingabespektrum, das sich in die rein virtuelle und eine physische Eingabe aufteilt, vorgestellt.

Eingabespektrum auf Interactive Tabletops

Die berührungsempfindlichen horizontalen Touch-Displays werden in Anlehnung an ihre Bauform als Interactive Tabletops bezeichnet. Kirk, Sellen, Taylor, Villar und Izadi (2009) bezeichnen die Tabletops aufgrund der Möglichkeit, digitale Informationen mit physischen Objekten zu verknüpfen, als *Hybrid Surfaces*. Interactive Tabletops werden im Gegensatz zu traditionellen Desktop-Systemen oder Notebooks aufgrund ihres Formfaktors eher als Mobiliar wahrgenommen (Weiss et al., 2010). Die Kombination aus physischer und digitaler Welt bietet ein breites Gestaltungsspektrum für Interaktionskonzepte (Kirk et al., 2009). Dieses reicht von der direkten Touch-Interaktion über *virtuelle* Bedienelemente (siehe Abbildung 117a) auf dem Display bis hin zu *passiven* (siehe Abbildung 117b) und *aktiven Tangibles* (siehe Abbildung 117c).

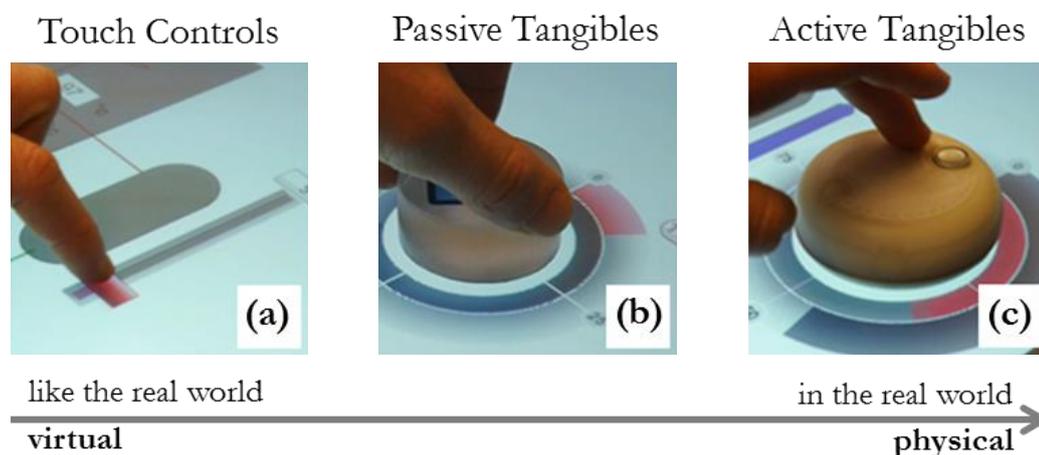


Abbildung 117 Eingabespektrum von Interactive Tabletops

(a) Direct-Touch-Manipulation einer virtuellen Metapher; (b) Tangible-Object-Manipulation mit passivem Tangible; (c) Tangible-Object-Manipulation mit aktivem Tangible (Schwarz, Müller, et al., 2011)

Die *passiven Tangibles* sind unidirektional, d. h. sie können selbst keine eigenen Zustände repräsentieren. Hingegen können die *aktiven Tangibles* durch den Einsatz von Hardware eigene Zustände darstellen. Die Tangibles nehmen die wichtige Rolle ein, die emotionale und kognitive Bedeutung des Tastens zu unterstützen (Hornecker, 2004). Die rechte Seite des Spektrums (siehe Abbildung 117)

zeichnet sich durch *physische Constraints* aus. Der Benutzer nimmt hierbei eine geführte Interaktion wahr. Dabei ist die allgemeine Besonderheit von Tangibles, dass sie, ausgehend vom interaktiven Display, Daten erfassen können. So ermöglichen sie beispielsweise die nachvollziehbare Manipulation von Prozessvariablen. Der Kontextbezug wird beibehalten, da das Artefakt auf jedem beliebigen Punkt des Displays positioniert werden kann.

Kirk et al. (2009) bezeichnen die direkte Manipulation von digitalen Metaphern mit dem Finger als *Direct-Touch-Manipulation*. Den virtuell visualisierten Elementen, die durch Gesten direkt manipuliert werden können, liegt oftmals eine realweltliche Metapher zugrunde (z. B. Fader). Die Erfahrbarkeit des Prozesses ist durch die direkte Interaktion bzw. Berührung somit höher als bei der indirekten Interaktion durch Maus und Tastatur. Nach den Gestaltungsprinzipien von Jacob et al. (2008) kann folglich eine (be)greifbare Interaktion erreicht werden, wenn beispielsweise die *Naïve Physics*, d. h. die Nachahmung physikalischer Prinzipien, bei der Interaktion zum Einsatz kommt. Wigdor und Wixon (2011) nehmen an, dass die Manipulation durch bildliche Metaphern von Nutzern als natürlichere Interaktion empfunden wird. Vorteil dieser Form der Interaktion ist es, realitätsbasierte Prinzipien bewusst außer Kraft setzen zu können. Dabei können sich sowohl die Anmutung als auch das Verhalten an den realweltlichen Konzepten orientieren und mit den positiven Qualitäten der digitalen Welt verknüpft werden. So können unrealistische, aber effiziente Interaktionsformen geschaffen werden.

Die *Direct-Touch-Manipulation* ist in Bezug auf die Wahrnehmung durch den Nutzer auf die Bewegungsempfindung (Kinästhetik) und den Sehsinn limitiert. Durch die direkte Touch-Interaktion lässt sich physikalisch-realistisches Verhalten auf rein virtuelle Objekte übertragen (Wilson, Izadi, Hilliges, Garcia-Mendoza & Kirk, 2008). Dabei werden beispielsweise Effekte wie Masse, Kraft sowie Reibung simuliert, die per Hand- oder Fingerinteraktion gesteuert werden können (siehe Abbildung 118a-c). Die Eigenschaften und Verhaltensweisen ähneln einer pseudophysikalischen Interaktion. Somit wird die Manipulation von Objekten durch den Nutzer natürlicher wahrgenommen. Es können neben der reinen Fingerinteraktion auch physische Objekte, wie ein Lineal, für das Verschieben verwendet werden.

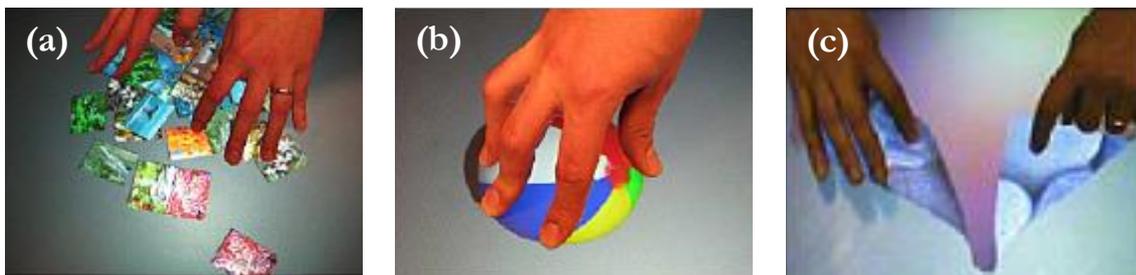


Abbildung 118 Physikalisch-realistisches Verhalten von virtuellen Objekten

(a) Bildobjekte können analog der realen Welt zusammengeschoben und gestapelt werden. **(b)** Die virtuellen Objekte lassen sich nach den realen physischen Gesetzen bewegen. **(c)** Materialien wie Stoffe können analog der realen Welt gefaltet oder zerrissen werden (Wilson et al., 2008).

Nach Kirk et al. (2009) wird die greifbare Manipulation von digitalen Informationen mittels physischer Objekte als *Tangible-Object-Manipulation* bezeichnet. Diese besitzen im Hinblick auf die Interaktion eine duale Identität (Hornecker, 2004). Denn zum einen repräsentieren Tangibles die physischen Instanzen digitaler Informationen, und zum anderen dienen sie der Manipulation von digitalen Inhalten (Ishii & Ullmer, 1997). Als eines der ersten Projekte hat die *Marble Answering Machine* (Crampton-Smith, 1995) physische Objekte zur Interaktion eingesetzt. Das System stellt einen Anrufbeantworter dar, der hinterlassene Nachrichten in Form von physischen Murmeln repräsentiert. Zum Abhören der Nachricht oder zum Zurückrufen muss die entsprechende Murmel in einer phy-

sischen Senke platziert werden. Der Begriff TUI wird erst zu einem späteren Zeitpunkt von Ishii und Ullmer (1997) durch die Projekte *Tangible Bits* und *metaDESK* geprägt. Zuvor wird bereits von *Grapsable User Interfaces* (Fitzmaurice, Ishii & Buxton, 1995) bei der Integration von physikalischen Objekten gesprochen. Das Forschungsprojekt *Data Tiles* (Rekimoto, Ullmer & Oba, 2001) vereinigt als eines der ersten die grafische Benutzungsoberfläche mit physikalischen Objekten. Die einzelnen physisch transparenten Objekte können vom Nutzer beliebig platziert werden, um so eine gewünschte grafische Benutzungsoberfläche zu gestalten. Die Interaktion mittels physischer Objekte, die sich parallel zu den Interactive Tabletops entwickelt hat, ist nach Hornecker (2008) die Verkörperung der Manipulation von digitalen Daten in Form von physischen Objekten. Die Tangibles mit ihren physischen Eigenschaften unterliegen dabei den realweltlichen Gesetzmäßigkeiten (vgl. Jacob et al., 2007, 2008; Klemmer et al., 2006). Im Gegensatz zur *Direct-Touch-Manipulation* sind die physischen Objekte aufgrund ihrer materiellen Eigenschaften nicht so flexibel einsetzbar (Ishii, 2008).

Gerade die wohlbedachte Kombination zwischen der *Direct-Touch-Manipulation* und *Tangible-Object-Manipulation* bietet Potenziale für den Einsatz in der Arbeitsumgebung von Operatoren. So können beispielsweise TUIs sowohl zur expliziten Manipulation von Daten als auch zur Rückmeldung von Prozesszuständen herangezogen werden (Ishii, 2008). Somit kann bei *passiven Tangibles* zwischen einer mittelbaren Tangible- und einer direkten Touch-Interaktion unterschieden werden. Optische Interactive Tabletops unterstützen nicht nur die Erkennung von Berührungspunkten, sondern auch die Erkennung von *Mustern* oder *Tags*. Die eindeutige Erkennung jener barcodeähnlichen Muster ermöglicht es, neben der Touch-Interaktion per Finger auch Gegenstände durch die optischen Technologien zu tracken. Durch das Anbringen eines Markers auf einem physischen Objekt kann nicht nur die bloße Bewegung (Translation), sondern auch eine Drehung (Rotation) des Objekts erfasst werden.

Im Forschungsprojekt *Silicone Illuminated Active Peripherals (SLAP Widgets)* (Weiss et al., 2009) werden konventionelle physische Kontrollelemente wie Schieberegler, Tastenblöcke und Drehregler zur Manipulation digitaler Informationen umgesetzt (siehe Abbildung 119a).

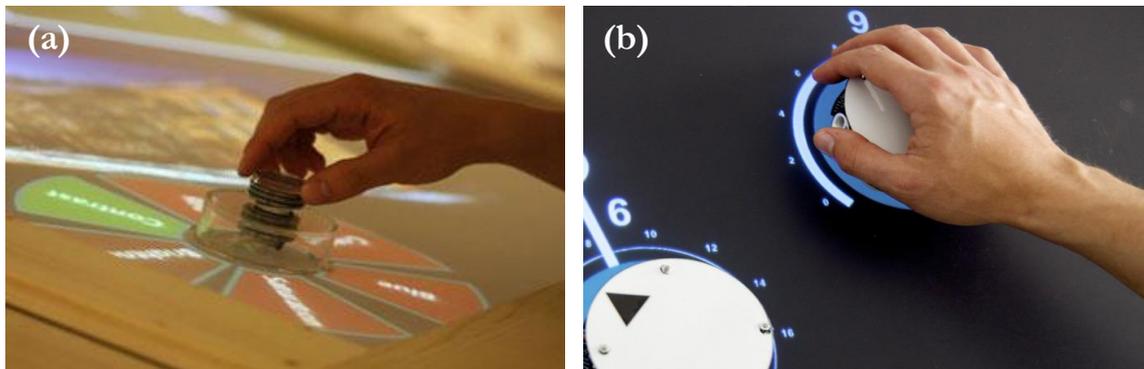


Abbildung 119 Ausprägungsformen der Tangible-Interaktion

(a) Passives Tangible zur Manipulation digitaler Informationen aus Acrylglas und Silikon³⁴; **(b)** Autonomes aktives Tangible mit Übertragung der Ausrichtung auf andere Bots (Pedersen & Hornbæk, 2011)

Zusätzlich wird eine Tastatur gestaltet, die an beliebiger Stelle auf dem Display platziert werden kann, um einen Text eingeben zu können. Die Anmutung des Drehreglers ist an einen Lautstärkeregler angelehnt. Diese Ausprägung der Tangibles zählt zu den *passiven* und somit zu den unidirektionalen Kontrollelementen, da sie selbst keine eigenen Zustände präsentieren können. Das Problem besteht darin, dass jene Tangibles, aus denen ein interner Zustand abgeleitet werden kann (*aufgedreht*

³⁴ <http://hci.rwth-aachen.de/slap>, zuletzt aufgerufen am 22.05.2014.

und *zugeschrieben*), den Ist-Wert beim Auflegen auf das Display überschreiben. Bei *aktiven Tangibles* findet eine bidirektionale Informationsvermittlung zwischen Objekt und Benutzungsoberfläche statt. Das *aktive Tangible* erfasst beispielsweise beim Auflegen Daten, die vom interaktiven Display gesendet werden.

Im Forschungsprojekt *Tangible Bots* (Pedersen & Hornbæk, 2011) sind motorbasierte Tangibles entwickelt worden, die sich eigenständig auf dem Display bewegen können (siehe Abbildung 119b). Das Projekt basiert auf dem *mixiTUI Sequencer*-Ansatz aus dem Jahr 2009 von Pedersen und Hornbæk. Um dem inkohärenten dargestellten Systemzustand entgegenzuwirken, werden die physischen Objekte mit digitalen Zuständen angereichert. Mit Hilfe kontextspezifischer dynamischer Ausrichtung der Tangibles wird der Zustand des Systems nicht nur virtuell repräsentiert. Die Interaktion kann somit eine autonome Aktion auf andere Tangibles übertragen.

Wie bereits in Abschnitt 4.2.2 bei der Vorstellung von Projekten im Kontext von neuen Interaktionstechnologien in Leitwarten erwähnt, werden von Nebe et al. (2011) und Johansson et al. (2012) Tangibles zur Unterstützung der Nutzerinteraktion eingesetzt. Im Projekt des THW (Nebe et al., 2011) wird zum einen ein *passives Tangible* zur Verschiebung des Lagebilds und zum anderen ein *aktives Tangible* (siehe Abbildung 120a) zur Auswahl von unterschiedlichen Kartenarten genutzt. Nach dem Auflegen des *aktiven Tangible* auf das Display erscheint ein Kreismenü zur Auswahl von unterschiedlichen Detailkarten (z. B. Satellitenbilder oder Geländekarten), die durch einen Tastendruck auf das Tangible bestätigt werden können. Auch in der Leitwarte wird zur Koordination der Einsatzkräfte der Polizei ein *aktives Tangible* in Form eines Kommunikationspucks verwendet, der beispielsweise die eingehenden Anrufe auf einem Display darstellt (Johansson et al., 2012). Im Projekt von Kobayashi, Kakizaki, Narita, Hirano und Kase (2007) werden im Bereich der Schulung von Mitarbeitern im Katastrophenmanagement *passive Tangibles* eingesetzt (siehe Abbildung 120b).

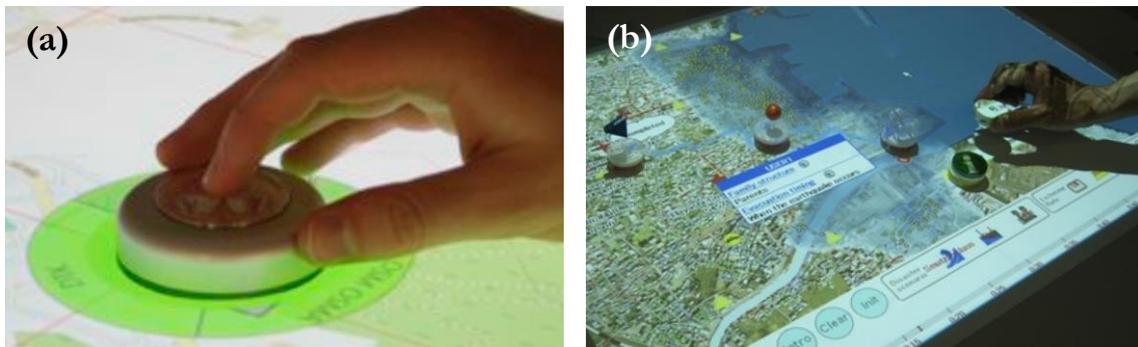


Abbildung 120 Einsatz von Tangibles im Kontext der Leitwarte

- (a) Aktives Tangible zur Auswahl unterschiedlicher Kartenarten (Nebe et al., 2011);
- (b) Passives Tangible zur Planung von Evakuierungen (Kobayashi et al., 2007)

Die physischen Objekte dienen der Planung von Evakuierungsrouten in Krisensituationen. Durch das Verschieben der Tangibles können spezielle Routen festgelegt werden.

Zusammenfassung und Implikation

Ziel der neuen Interaktionsparadigmen ist es, dass der Nutzer nicht von seiner ursprünglichen physischen und sozialen Umgebung isoliert wird, wie es bei traditionellen grafischen Oberflächen (GUI) der Fall ist. Der Mensch hat sich an die indirekte Interaktion mit Maus und Tastatur gewohnheitsbedingt angepasst. Diese Form der Interaktion ist aber eine unnatürliche Art und Weise, mit Benutzungsoberflächen zu interagieren. Die Eingaben über natürliche Benutzungsschnittstellen wie bei Interactive Tabletops finden nicht mehr indirekt statt, sondern unmittelbar mit Fingern, Händen oder sogar dem gesamten menschlichen Körper. Bei der Gestaltung von Benutzungsschnittstellen für Interactive Tabletops lassen sich zwei Ausprägungsformen identifizieren: die reine

virtuelle Eingabe per Touch und die *physische* Eingabe durch Objekte mit jeweiligen Gestaltungsspielräumen. Die vorgestellten Ausprägungen nutzen sowohl virtuelle als auch physische Eigenschaften mit individuellen Stärken. Es zeigt sich deutlich, dass die *Tangible-Object-Manipulation* nicht eine bloße Weiterentwicklung einer reinen touchbasierten Benutzungsschnittstelle ist. Diese Interaktionsform verfolgt das Ziel, die virtuelle und reale Welt miteinander zu verknüpfen. Insbesondere durch die haptischen Qualitäten kann sogar eine Blindbedienung erfolgen. Darüber hinaus unterstützen TUIs die soziale Interaktion, indem mehrere Nutzer gemeinsam interagieren können.

Wilson et al. (2008) zeigen in ihren Konzepten auf, dass die physischen Eigenschaften auf die digitale Welt übertragen werden können. Dabei werden trotz der direkten Interaktion mit Fingern oder Händen die realweltlichen Eigenschaften wie *Naïve Physics* und die *Body Awareness & Skills* (vgl. Jacob et al., 2008) nachgeahmt. So wird beispielsweise mittels *Direct-Touch-Manipulation* durch realistische Nachahmung in Verbindung mit der digitalen Funktionsvielfalt eine natürliche und flexible Bedienung geschaffen. So lassen sich die rein virtuellen Inhalte nach realweltlichen physischen Gesetzen bewegen. Die Tangibles zeichnen sich in beiden Kategorien *passiv* und auch *aktiv* durch ihre haptischen Interaktionsqualitäten aus. Das ermöglicht dem Nutzer eine greifbare Interaktion. Die sinnvolle Integration von physischen Objekten in die Benutzungsschnittstelle basiert auf einer wohlbedachten Balance zwischen *Direct-Touch-Manipulation* und *Tangible-Object-Manipulation*. Dabei nimmt die Visualisierung neben den rein physischen Eigenschaften auf dem interaktiven Display eine zentrale Rolle ein. Die Haupteigenschaften von greifbaren Benutzungsschnittstellen lassen sich nach Hornecker (2004) in zwei Kernbereiche gliedern, und zwar in die *haptische Direktheit* und die *physikalische Räumlichkeit*. Die *haptische Direktheit* beschreibt die Möglichkeiten in Form der direkten Interaktion durch die physischen Objekte als Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine. Die *physikalische Räumlichkeit* bezeichnet die Koprpresenz von Objekten in einem hybriden Interaktionsraum, der gegenständliche und virtuelle digitale Artefakte verknüpft.

Gerade die physischen Bedienelemente ermöglichen es dem Operator, sowohl seine sinnlich-körperlichen Fähigkeiten als auch seine Wahrnehmungsmöglichkeiten zu unterstützen. Für die Aufrechterhaltung der begreifbaren Manipulation von Prozessvariablen sind die TUIs hervorragend geeignet. Denn dadurch sind Prozessänderungen motorisch (z. B. Aufdrehen durch eine Drehbewegung) sowie haptisch (z. B. Manipulation durch ein greifbares Stellteil) nachvollziehbar. Das Tangible stellt einen räumlichen Bezug zwischen realer und digitaler Welt her. So lassen sich durch den Einsatz solcher Interaktionsformen die Prozesse in Anlehnung an die analogen Leitwarten physisch nachvollziehbarer manipulieren, was zugleich die Prozessinformationen erfahrbarer vermittelt und somit sowohl die Vorkenntnisse als auch Fähigkeiten des Operators berücksichtigt. Kennzeichnend für die unterschiedlichen Ausprägungsformen von Tangibles (vgl. *SLAP Widgets* nach Weiss et al., 2009; *Tangible Bots* nach Pedersen & Hornbæk, 2011) ist die hohe haptische Qualität, die den Merkmalen traditioneller Stellteile entspricht. Die Tangibles können vom Operator frei auf der Bildschirmoberfläche bewegt werden, woraus sich der Vorteil des Kontextbezugs ergibt. Bis auf die *Tangible Bots* sind keine Ausprägungsformen in der Lage, kontextbezogene Positionen autonom einzunehmen. Diese müssen vom Operator platziert werden, was vor allem bei dynamischen Szenarien, bei denen sich das Prozessbild oft ändert, von Nachteil sein kann. Die Schwäche einer autonomen Bewegung der Tangibles ist hingegen, dass keine bewusste Bedienhandlung vom Operator ausgeführt werden muss. Die bisherigen Untersuchungen (vgl. Johansson, 2012; Kobayashi et al., 2007; Nebe et al., 2011) von Interactive Tabletops im Umfeld der Leitwarte beschäftigen sich vornehmlich mit der Interaktion in Kartendarstellung (z. B. Zooming).

Im Hinblick auf die monotonen Überwachungstätigkeiten ist es allerdings wichtig, auch den Bereich der Erinnerbarkeit von eingestellten Werten zu analysieren. Gerade bei sicherheitskritischen Systemen ist die Erinnerbarkeit eines Stellvorgangs von enormer Bedeutung (vgl. Wickens et al., 2004), denn Fehlentscheidungen können große Auswirkungen auf Mensch und Umwelt haben.

6.1.3 Vorstudie zur Identifikation der Designanforderungen

Aufgrund von besonderen Bedarfen im Kontext von sicherheitskritischen Systemen wird eine Fokusgruppe zur Identifikation von Designanforderungen gebildet. Daran nehmen fünf männliche Usability-Experten teil (durchschnittliches Alter 38.24 Jahre, $SD = 2.29$), die Erfahrung in der Gestaltung von Benutzungsschnittstellen für sicherheitskritische Systeme haben (Energieverteilung und Kraftwerke ($N = 2$), Verkehrskontrollsysteme ($N = 1$), Medizintechnik ($N = 1$) und Logistiksysteme ($N = 1$)). Ziel ist es, mit den Experten grundlegende Gestaltungskriterien für realitätsbasierte Interaktionsformen zu erörtern (vgl. Müller, Schwarz, Butscher & Reiterer, 2012; Schwarz, Müller, et al., 2011). Zugleich wird den Experten die Möglichkeit geboten, die generelle Verwendung von Interactive Tabletops zu diskutieren. Anhand eines halbstrukturierten Leitfadens wird die Fokusgruppe von einer Person moderiert. Neben dem Moderator sind zwei weitere Forscher anwesend, die auch an der Diskussion teilnehmen und zusätzlich die Rolle der Protokollanten übernehmen.

Versuchsablauf

Die Fokusgruppe arbeitet ca. drei Stunden und hat die Gestaltungsebenen der *Reality-based Interaction* nach Jacob et al. (2008) zum Diskussionsgegenstand. Es gilt, gemeinsam mit den Experten die Kernfrage zu diskutieren:

Auf welche Art und Weise könnte die Manipulation von Prozessvariablen unter Beachtung der vier Ebenen der Reality-based Interaction auf Interactive Tabletops erfolgen?

Die Fokusgruppe wird zur Bearbeitung dreier Aufgabenblöcke aufgeteilt. Zu Beginn werden den Teilnehmern die vier Gestaltungsebenen ((1) *Naïve Physics*, (2) *Body Awareness & Skills*, (3) *Environment Awareness & Skills* und (4) *Social Awareness & Skills*) der *Reality-based Interaction* (siehe Abschnitt 4.2.1) präsentiert, und es wird eine theoretische Einführung zu Interactive Tabletop-Systemen gegeben, um ein gemeinsames Verständnis sowohl der Theorie als auch der Technologie zu erreichen. Im Anschluss haben die Experten die Möglichkeit, in einer Diskussion aufzuzeigen, wie die Manipulation von Prozessvariablen zukünftig aussehen könnte. Die Ergebnisse sind Ausgangspunkt für den zweiten Teil der Arbeit der Fokusgruppe. Als Basis für die Anforderungen werden exemplarisch die sechs Kategorien (*Expressive Power*, *Efficiency*, *Plasticity*, *Ergonomics*, *Accessibility* und *Practicality*) der *Reality-based Interaction* in die Diskussion eingebracht. Abschließend werden die Ergebnisse in Bezug auf die *Design Tradeoffs* diskutiert. Dabei werden die Anforderungen und die von Teilnehmern eingebrachten Designideen gegenübergestellt.

Ergebnisse

Die Experten geben an, dass Interactive Tabletops zur Manipulation von Prozessvariablen optimal mit den Wanddisplays, die zur Überwachung und Diagnose eingesetzt werden, ergänzend integriert werden können. Der Formfaktor wird in Verbindung mit der multimodalen Interaktion sowie der Unterstützung der sozialen Interaktion positiv bewertet. Auch die beiden Interaktionsformen der *Direct-Touch-Manipulation* und *Tangible-Object-Manipulation* würden sich nach den Aussagen der Experten im Leitwartenkontext ergänzen. Die direkte Interaktion mit dem Finger wird als sehr flexible Form der Manipulation angesehen, da diese eine schnelle Eingabe des Stellvorgangs ermöglicht. Die Experten sehen Vorteile bei der *Tangible-Object-Manipulation*, da die Objekte eine *physische Affordance* bereitstellen und somit die multimodale Wahrnehmung der Operatoren unterstützen.

Weiterhin geben die Experten an, dass der Stellvorgang, um den Prozesszustand zu ändern, eine wohlbedachte Bedienhandlung darstellt. Somit ist es für den Operator essenziell, dass er zwar schnell die Manipulation ausführen kann, gleichzeitig sollte die Interaktion jedoch auch eindeutig nachvollziehbar sein. Somit sind vor allem die *Stellgeschwindigkeit* und die *Einprägsamkeit* wichtig. Im Folgenden werden zusammenfassend die spezifischen Designanforderungen vorgestellt.

Für die Experten ist die Minimierung möglicher Fehlbedienungen eine maßgebliche Anforderung. Im Umgang mit den Tangibles sehen die Experten ein größeres Gefahrenpotenzial einer Fehlbedienung, da diese leichter auf der Oberfläche verrutschen können, als bei der direkten Manipulation mit dem Finger. Um Fehlbedienung und Risiken bei der Bedienung durch Tangibles zu minimieren, werden von den Experten vier Anforderungen genannt: (1) hinreichende Adhäsion, um ein unabsichtliches Verschieben zu verhindern, (2) eine Unterstützung bei der Interaktion in Form einer physischen Führung, (3) getrennte Funktion zur Bestätigung des Zielwerts, (4) integrierte Alarmfunktion, um ein versehentliches Entfernen des Tangible zu verhindern.

Im Folgenden werden die Ergebnisse im Kontext der Gestaltungsprinzipien der *Reality-based Interaction* diskutiert. Eine schnelle Interaktion in Verbindung mit der Werteingabe ist für die tägliche Arbeit ein enorm wichtiges Merkmal, um die normalen Zustände der Prozesse effizient wiederherzustellen. Am Beispiel der *Naïve Physics* verdeutlicht sich, dass die individuellen Merkmale wie der Bedienwiderstand aus Gründen der Effizienz angepasst werden müssen, um einen schnelleren Stellvorgang zu unterstützen. Weiterhin müssen die physikalischen Prozesszustände in verständlicher Form visuell codiert werden (z. B. Farbcodierung für einen Temperaturbereich), um die Wahrnehmung der physikalischen Größen über den Sehsinn zu fördern. Zusätzlich können *aktive Tangibles* den physikalischen Zustand des zugrundeliegenden realen Zustands widerspiegeln, indem sie beispielsweise die Temperatur des Prozesszustands annehmen. Im Sinne der Erwartungskonformität des Operators sollte eine Synchronisation zwischen dem aktuellen Prozesszustand und dem aufgesetzten physischen Stellteil hergestellt werden, um ein korrektes Abbild des Zustands zu vermitteln.

Im Rahmen der *Body Awareness & Skills* sehen die Experten großes Potenzial in der bimanuellen Interaktion, weil dadurch die Verwendung beider Hände ermöglicht wird und gleichzeitig mehrere Prozessvariablen manipuliert werden können. Die physische Arbeitsumgebung in Leitwarten kann nach Meinung der Experten sehr gut mit einem Interactive Tabletop ergänzt werden (*Environment Awareness & Skills*). Der Operator bekommt durch die physischen Objekte wie TUIs einen völlig neuen Zugang, um handlungs- und entscheidungsrelevante Informationen für die Manipulation von Prozessvariablen ableiten zu können. Diese Gestaltungsebene der *Reality-based Interaction* ist eng mit dem Prinzip der *Social Awareness & Skills* verbunden, da körperliche Präsenz des Operators in die Bedienhandlungen einfließt, z. B. die Aufnahme und die Übergabe von physischen Objekten. Das letzte Gestaltungsprinzip *Social Awareness & Skills* ist für Experten essenziell, da gerade die kooperative und kollaborative Zusammenarbeit bei Problemlösetätigkeiten von enormer Wichtigkeit ist. Hierbei haben die Interactive Tabletops in Verbindung mit der *Tangible-Object-Manipulation* Vorteile, da mehrere Operatoren interagieren können. Gleichzeitig können soziale Konventionen berücksichtigt werden, indem beispielsweise den Operatoren individuelle Tangibles zugeteilt werden.

Abschließend lässt sich zusammenfassen, dass die Experten beiden Ausprägungen, *Direct-Touch-Manipulation* und *Tangible-Object-Manipulation*, beim Einsatz in Leitwartenkontext jeweils eigene Vorteile beimessen. Hierbei sind vor allem drei Anforderungen beim Einsatz von Tangibles wichtig: *hinreichende Adhäsion*, *physische Führung* bei der Bedienung und eine getrennte *Funktion zur Bestätigung* des Zielwerts. Darüber hinaus sind *Stellgeschwindigkeit* und *Einprägsamkeit* von Prozessvariablen essenziell.

6.1.4 Interaktions- und Visualisierungskonzept

Leitbild für die Konzeptentwicklung sind die Anforderungen, die zum einen in der Nutzungskontextanalyse vor Ort (siehe Abschnitt 3.2.3) und zum anderen in der Fokusgruppe (siehe Abschnitt 6.1.3) identifiziert worden sind. Die *Einstellgeschwindigkeit* ist die Zeit, die vom Operator benötigt wird, um einen bestimmten Variablenwert mit dem Kontrollelement einzustellen, das entspricht

dem Begriff der *Stellgeschwindigkeit* nach DIN EN 894-3³⁵ (Stellteile). Hingegen ist die *Einprägbarkeit* durch die Nachhaltigkeit einer Interaktion bei der Manipulation von Prozessvariablen gekennzeichnet. Konkret bedeutet das, inwieweit die eingestellten Werte, die im Zuge der Bearbeitung einer Arbeitsanweisung manipuliert worden sind, aus dem Gedächtnis abgerufen werden können. Dabei muss das dem Konzept zugrundeliegende Modell in einem engen assoziativen Verhältnis zur jeweiligen Prozessvariablen stehen. Das bedeutet gleichzeitig, dass die typischen Operationsweisen für das Stellteil nachgeahmt werden. Die Konzepte sind aufgrund der starken Assoziation des Drehrads zu Durchlassgrößen wie Kühlwasser und Speisewasser sowie für den Schieberegler zur Bestimmung der Fördermenge der Kohle im Energiegewinnungskontext integriert. Nachfolgend werden Konzepte zu klassischen Stellteilen (Drehregler und Schieberegler) aus dem Kraftwerkskontext dargestellt, die auf der Grundlage der realitätsbasierten Prinzipien gestaltet worden sind.

Drehregler

Die Ventile und auch das Drehrad gehören nach DIN EN 894-3³⁵ zu den rotatorischen Stellteilen mit kontinuierlichen Stellbewegungen. Sie werden senkrecht zum Zufassungsgriff bedient. Es wird zwar eine Blindbedienung ermöglicht, die Sichtkontrolle ist aber deutlich eingeschränkt, da die Stellung des Drehrads keine logische Folgerung auf die aktuelle Werteeinstellung erlaubt.

Haptisches Kontrollelement – Der Drehregler ist durch die Bedieneigenschaften und Qualitäten des rotatorischen Stellteils charakterisiert und hebt sich wegen der physischen Eigenschaften durch eine ausgeprägte sinnliche Wahrnehmbarkeit hervor. In der Notation des *Conceptual Blending* entsprechen die realen Eigenschaften dem *Input Space 1*. Dabei werden die Funktionen eines Wasserauslaufventils auf den Drehregler übertragen (siehe Abbildung 121a).

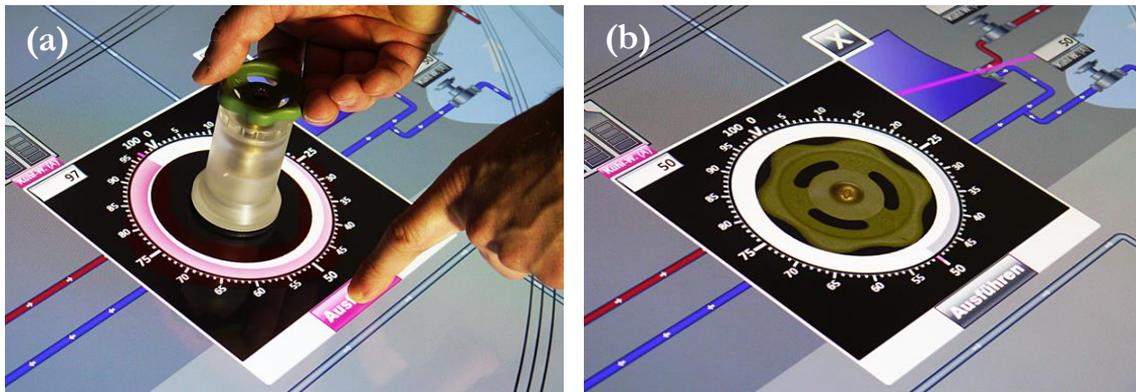


Abbildung 121 Physisches Konzept des Drehreglers

(a) Manipulation einer Prozessvariablen mit dem Tangible sowie Button zur Bestätigung des einzugebenden Werts; (b) Darstellung des inaktiven Zustands (Müller, Schwarz, Butscher & Reiterer, 2014)

Die eingeschränkte Sichtkontrolle wird durch eine digitale Kreisvisualisierung, die den *Input Space 2* repräsentiert, erweitert. Der resultierende *Blend* beschreibt die jeweiligen Vorteile der Konzepte, indem sowohl die physischen Eigenschaften des Drehreglers (*Input Spaces 1*) als auch die kontextspezifische virtuelle Kreisvisualisierung (*Input Spaces 2*) umgesetzt werden. Abbildung 121b zeigt den inaktiven Zustand der Prozessvariablen, wenn der Drehregler nicht auf dem Interactiven Tabletop positioniert ist. Die digitale Durchlassanzeige erstreckt sich radial (*Input Space 2*). Diese erscheint, sobald der Drehregler an einer beliebigen Stelle im Dialogfenster aufgestellt wird. Die Form des Füllstands entspricht dabei einer Art Keilvisualisierung, dessen Ausdehnung mit der Wertzunahme, d. h. einer Rechtsdrehung, wächst. Dadurch wird die Drehrichtung visuell verstärkt. Die Anzeige

³⁵ DIN EN 894-3 (2010-01): Sicherheit von Maschinen - Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen - Teil 3: Stellteile.

breitet sich von außen nach innen aus, um die Anzeige der Zahlenwerte optimal lesbar zu machen. Die numerischen Werte werden dem Füllstand entlang abgebildet. Der Füllstand erscheint, sobald der Drehregler an einer beliebigen Stelle im Dialogfenster aufgestellt wird. Auf Basis einer Anforderung aus der Fokusgruppe wird zur besseren Haftung auf die Auflagefläche des Drehreglers eine Adhäsionsfolie aufgebracht. Als Vakuummaterial wird das Nano-Pad³⁶ des Herstellers Inotec verwendet, das auf der Basis einer Untersuchung von Hennecke, Wimmer, Vodicka und Butz (2012) im Projekt *Vertibles* ausgewählt worden ist. Zur Anknüpfung an die realweltliche Vorerfahrung des haptischen Bedienwiderstands beim Minimal- und Maximalwert (*Input Space 1*), wird das *Überdrehen* durch die physischen Eigenschaften verhindert, damit ein fühlbarer Anschlag beim vollständigen Auf- und Zudrehen zu spüren ist. Um eine realistische Bedienung zu simulieren, wird die Drehbewegung durch ein Gewinde unterstützt. Zusätzlich bekommt der Operator bei der Drehung des Rads einen Widerstand als haptisches Feedback zurückgemeldet.

Wie bereits beschrieben, wird in Anlehnung an die rotatorische Bedienung die virtuelle Füllstandsanzeige kreisförmig um die Stellteile herum umgesetzt. Die Verbindung von realweltlicher erlernter Bedienung mit rechtsdrehendem Gewinde wie beim Schließen eines Ventils und die kreisförmige Anordnung von Werten wie bei der Uhrzeit führen jedoch zu einem Widerspruch des Richtungs-codes. In der realen Welt werden rechtsdrehende Gewinde eingesetzt, um Ventile mit einer Rechtsdrehung zu schließen, was beim Nutzer eine Werteverminderung assoziiert. Hingegen entspricht die Darstellung von kreisförmigen Zahlenanordnungen häufig dem Uhrzeigersinn, folglich dem Richtungscode einer Rechtsdrehung und damit einer Werteerhöhung. Aus diesem Grund muss zunächst in einer Vorstudie das Nutzerverhalten in Verbindung mit den unterschiedlichen Richtungs-codes überprüft werden.

Es werden die Eingabemodalitäten (Maus, Touch und Tangible) mit jeweils zwei Drehrichtungen (links und rechts) getestet. Nach einer kurzen Einführung durch den Versuchsleiter und einer Explorationsphase wird jedem Teilnehmer pro Eingabemodalität und Drehrichtung eine Zahlenreihe von sechs Zufallszahlen sequenziell präsentiert. Die Zahlenreihen müssen von den Teilnehmern eingegeben werden. Dabei werden die Eingabemodalitäten komplett ausbalanciert. Die Versuchspersonen beginnen bei den Eingabemodalitäten immer mit dem rechtsdrehenden oder linksdrehenden Kontrollelement. Im Anschluss an jede Modalität wird anhand eines Fragebogens abgefragt, welche Drehrichtung präferiert worden ist.

An der Studie nehmen zwölf Probanden (sechs weiblich und sechs männlich) teil. Außer einer Person, die angibt, bereits berufstätig zu sein, sind alle Teilnehmer Studenten der Universität Konstanz. Das Durchschnittsalter beträgt 23.96 Jahre ($SD = 3.22$). Im Teilnehmerkreis sind elf Personen Rechtshänder und eine ist Linkshänder. Alle Probanden favorisieren in der Mauseingabe die rechtsdrehende Variante. Elf von zwölf Teilnehmern finden die Rechtsdrehung in der Touch- sowie in der Tangiblemodalität geeigneter. Dabei bevorzugt auch der Linkshänder die rechtsdrehende Variante. Die Bewertungen werden in eine Nominalskala (0 *bevorzugt rechtsdrehend* und 1 *bevorzugt linksdrehend*) überführt. Für die Auswertung der Daten wird eine Chi-Quadrat-Anpassung durchgeführt. Die Auswertung der Daten ergibt bei einem Signifikanzniveau von $p < .05$, dass signifikant mehr Probanden die rechtsdrehende Variante (Maus $t(11) = 12.00, p = .001$; Touch $t(11) = 8.33, p = .004$; Tangible $t(11) = 12.00, p = .001$) bevorzugen.

Die Visualisierung der rechtsdrehenden Variante wird eindeutig der linksdrehenden und somit der realen Drehrichtung vorgezogen. Das verdeutlicht, dass für das Drehreglerelement und dessen Visualisierung der Zahlenwert und somit der Sehsinn gegenüber der haptischen Nutzungsgewohnheit dominiert.

³⁶ <http://www.nano-pad.com>, zuletzt aufgerufen am 12.05.2014.

Touch-Kontrollelement – Das digitale Konzept zur manuellen Eingabe beinhaltet die direkte Manipulation einer digitalen Metapher, die sich am haptischen Drehrad orientiert (siehe Abbildung 122a). Während diese Eingabeform ohne haptische Qualitäten auskommen muss, wird eine (be)greifbare Interaktion beispielsweise dadurch erzielt, dass nach den *Naïve Physics* (Jacob et al., 2008) physikalische Prinzipien imitiert werden. Daher wird die direkte Manipulation der Metapher natürlicher wahrgenommen und die Interaktion durch intuitive Gesten möglich (Wigdor & Wixon, 2011).

Die grundlegende Bedienung orientiert sich stark an realen Funktionsweisen und entspricht damit dem haptischen Konzept. Durch eine radiale Bewegung per Finger wird das Drehrad über den Berührungspunkt bedient (siehe Abbildung 122b).

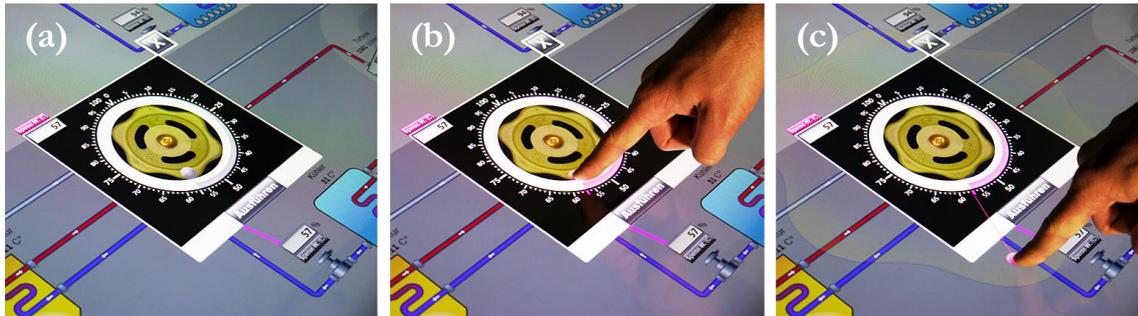


Abbildung 122 Virtuelles Konzept des Drehreglers

(a) Darstellung des inaktiven Zustands; (b) Schnelle Manipulation der Prozessvariablen mit kleinem Interaktionsradius; (c) Genaue Manipulation der Prozessvariablen außerhalb der Kreisvisualisierung mit großem Radius (Müller, Schwarz et al., 2014)

Abbildung 122c verdeutlicht die genaue Werteeinstellung einer Prozessvariablen, indem der Nutzer in einem größeren Radius interagiert. Zusätzlich zu den metaphorisch nachgeahmten Bedieneigenschaften wird das virtuelle Kontrollelement um digitalweltliche Merkmale bereichert. Zwar lässt sich hierbei kein spürbarer Anschlag umsetzen, dafür kann aber bei einem Stellvorgang vom niedrigsten zum höchsten Zahlenwert gesprungen werden.

Nach der Theorie des *Conceptual Blending* wird eine Bedienung ermöglicht, die sich aus dem *Blend* zweier *Input Spaces* ableiten lässt. Neben dem *Input Space 1* – dem Verhalten und der Anmutung eines realen *Drehreglers* (siehe Abbildung 123a) – stellt der *Input Space 2* – ein *virtueller Kreis* (siehe Abbildung 123b) – das zweite Ausgangskonzept dar. Als Gemeinsamkeit haben beide Konzepte übereinstimmende Charakteristika wie Umfang, Mittelpunkt und Radius. Beim Kreis handelt es sich im Gegensatz zum Drehregler allerdings um eine abstrakte geometrische Formgebung. Deren Parameter können beliebig variiert werden. Durch die Ausdehnung des Radius bei einem speziellen Winkel vergrößert sich parallel der Bogen des Kreissektors (d wird d').

Der *Blend* in Form des virtuellen Kontrollelements (siehe Abbildung 123c) übernimmt die Eigenschaft des variablen Radius durch das Herausziehen des Berührungspunkts aus seiner Umlaufbahn. Der Operator kann je nach Radius dynamisch zwischen einer schnellen (z. B. von 0 auf 50 durch den Mittelpunkt) und einer präzisen Bedienung (Ziehen des Berührungspunkts nach außen) entscheiden. Das ermöglicht die Bedienung des Drehrads auch außerhalb der Radvisualisierung. Damit birgt es den Vorteil einer höheren *Bediengeschwindigkeit* oder *Stellgenauigkeit*. Es besteht eine Verbindung durch eine Linie zwischen Berührungspunkt und Drehrad.

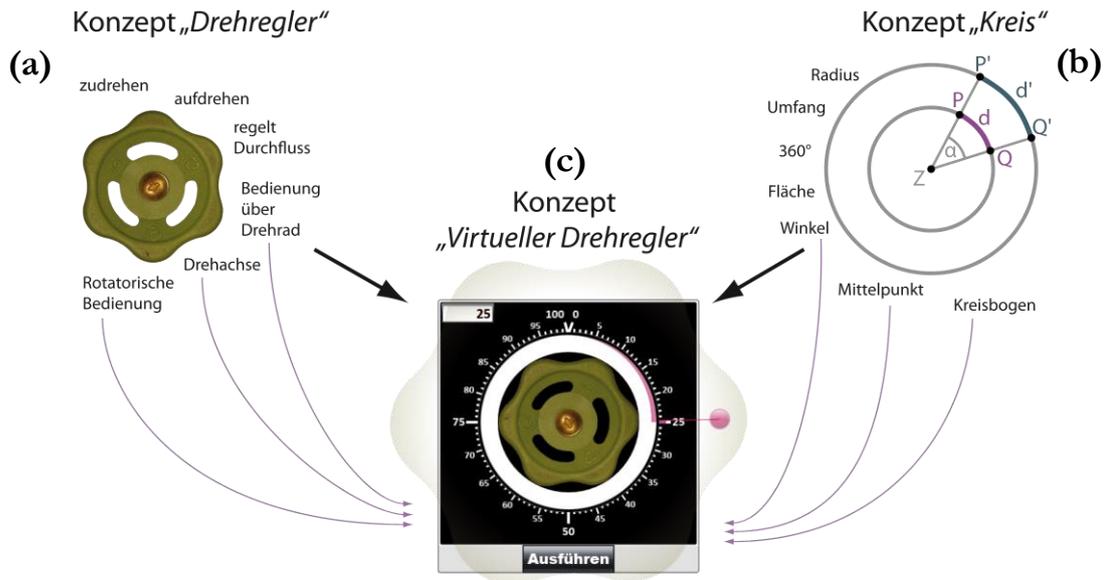


Abbildung 123 Blend des Drehreglers

(a) Konzept des Drehreglers mit realer Anmutung eines rotatorischen Bedienelements; (b) Konzept des virtuellen Kreises mit der Nutzung von digitalen Möglichkeiten; (c) Bedienkonzept des virtuellen Kontrollelements (lässt sich anhand eines Blends erklären, der sich aus den Konzepten Drehregler und Kreis zusammensetzt) (Müller, 2012)

Mittels einer geführten Animation wird der Berührungspunkt nach Anheben des Fingers an die aktuelle Stelle des Drehrads zurückgezogen. Dabei wird das Drehrad halbtransparent und dem aktuellen Radius angepasst visualisiert, um die Verständlichkeit des *Blends* zu unterstützen (siehe Abbildung 123c). Zudem kann der Operator durch eine Direktauswahl eines Zahlenwerts schnellstmöglich eine Werteänderung vornehmen.

Schieberegler

Der Schieberegler mit kontinuierlicher Stellbewegung wird in der DIN EN 894-3³⁷ den translatorischen Stellteilen zugeordnet. Die Lage des Schiebeknopfs ermöglicht eine Blindbedienung sowie eine bedingte Sichtkontrolle. Die Einstellung auf Minimal- und Maximalwert kann durch die Begrenzungen der Führungsschiene haptisch nachvollzogen werden.

Haptisches Kontrollelement – Der Schieberegler ist durch die Bedienmerkmale und Qualitäten des translatorischen Stellteils charakterisiert. Dieser zeichnet sich analog zum Drehregler durch seine physische Beschaffenheit aus. Bei der Realisierung des *Tangible*-Konzepts werden die grundlegenden Bedienmerkmale eines Schiebereglers umgesetzt. Somit enthält *Input Space 1* in der Notation des *Conceptual Blending* reale Eigenschaften eines Schiebereglers, wie sie beispielsweise bei Mischpulsten im Kontext von Tonstudios verwendet werden (siehe Abbildung 124a). Zur Verbesserung der Sichtkontrolle und zur Schaffung eines nahtlosen Übergangs zwischen digitaler und realer Welt, wird eine Visualisierung zur Anzeige des Füllstands auf dem interaktiven Display implementiert (*Input Space 2*). Der somit entstandene *Blend* hat dieselben Vorteile wie die im Konzept des Drehreglerelements beschriebenen. Die physischen Objekteigenschaften der realen Welt werden konsequent um Vorteile der digitalen Welt erweitert. Weil *Tangibles* im Gegensatz zu klassischen Stellteilen (analoge Prozessführung) vom Display entfernt werden können, ist es notwendig, dass sich diese Visualisierung gemäß dem positionierten *Tangible* nahtlos angleicht (siehe Abbildung 124b).

³⁷ DIN EN 894-3 (2010-01): Sicherheit von Maschinen - Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen - Teil 3: Stellteile.

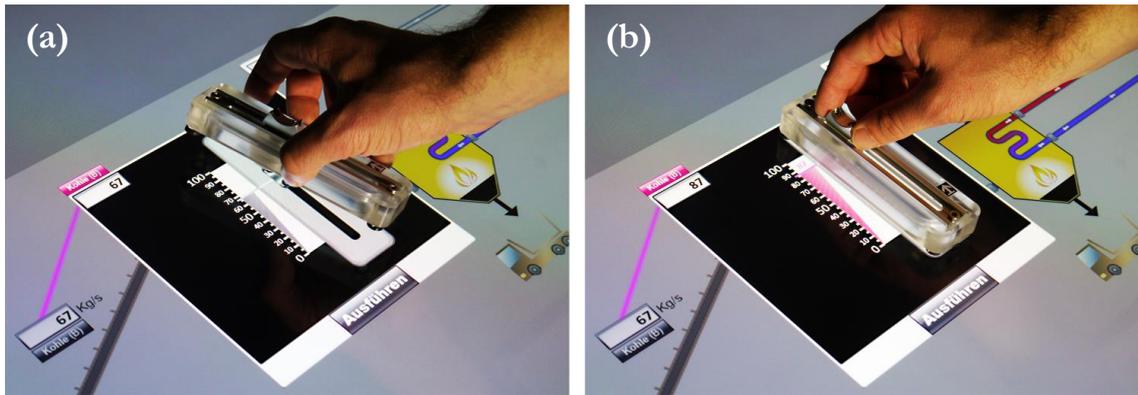


Abbildung 124 Physisches Konzept des Schiebereglers

(a) Der Nutzer legt den physischen Schieberegler auf die virtuelle Anzeigefläche, die im Anschluss aktiviert wird. (b) Der Sollwert wird mit dem physischen Schieberegler eingestellt. Dabei passt sich die Füllstandsanzeige dynamisch an (Müller, Schwarz et al., 2014).

Für eine exakte Einstellung darf zudem der Bedienwiderstand weder zu schwer (Tangible verrutscht bzw. Schiebeknopf bewegt sich ruckartig) noch zu leicht (Schiebepknopf ohne fühlbaren Widerstand) sein. Zudem muss das Tangible für eine präzise Bedienung genug Adhäsion haben. Die Haftung auf dem Display erschwert außerdem ein ungewolltes Stellen durch Verrückung des Tangible. Die Adhäsion wird analog zum Drehreglerkonzept mittels Nano-Pad-Technologie³⁸ umgesetzt.

Touch-Kontrollelement – Die Gestaltung des Elements lehnt sich an die Metapher eines Schieberegler Stellteils an (siehe Abbildung 125a). Die Touch-Variante *erbt* nach dem Prinzip des *Conceptual Blending* sowohl die Bedieneigenschaften der realen Welt als auch die fotorealistischen Darstellungen des Tangible (siehe Abbildung 125b).

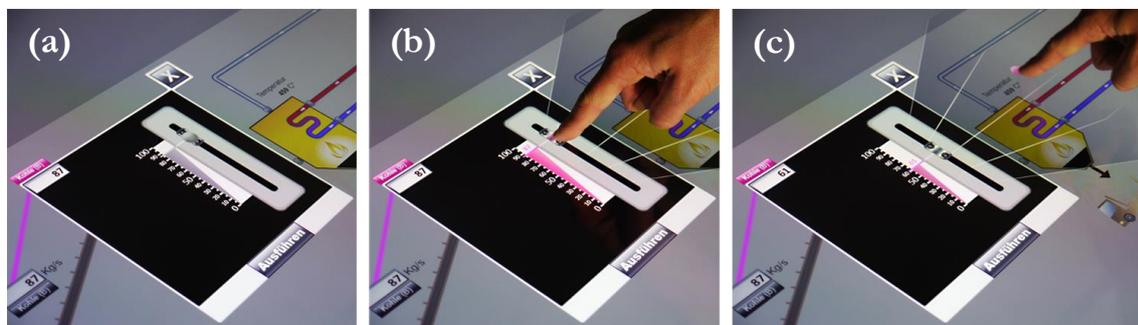


Abbildung 125 Virtuelles Konzept des Schiebereglers

(a) Das virtuelle Kontrollelement ist im inaktiven Zustand dargestellt. (b) Der Nutzer stellt die Werte direkt am Schiebepknopf ein. Die Füllstandsanzeige nimmt den aktiven Zustand ein. (c) Mittels einer digitalen Erweiterung der Führungsschiene (Trapez) kann der Stellvorgang genauer ausgeführt werden (Müller, Schwarz et al., 2014).

Um einen genauen Stellvorgang der Werte entlang der Führungsschiene zu ermöglichen, wird das Konzept mit digitalen Funktionen angereichert (siehe Abbildung 125c). Auch dieses Konzept setzt sich aus einem *Blend-Schieberegler* (vgl. *Input Space 1*; siehe Abbildung 126a) und einem symmetrischen Trapez (vgl. *Input Space 2*; siehe Abbildung 126b) zusammen. Die Bewegungsfreiheit beim *Stellen* eines Werts ist keiner physischen Führung unterlegen. Dadurch kann die Werteeinstellung auch fernab der metaphorischen Führungsschiene mit einem veränderten Maßstab durchgeführt werden.

³⁸ <http://www.nano-pad.com>, zuletzt aufgerufen am 15.06.2014.

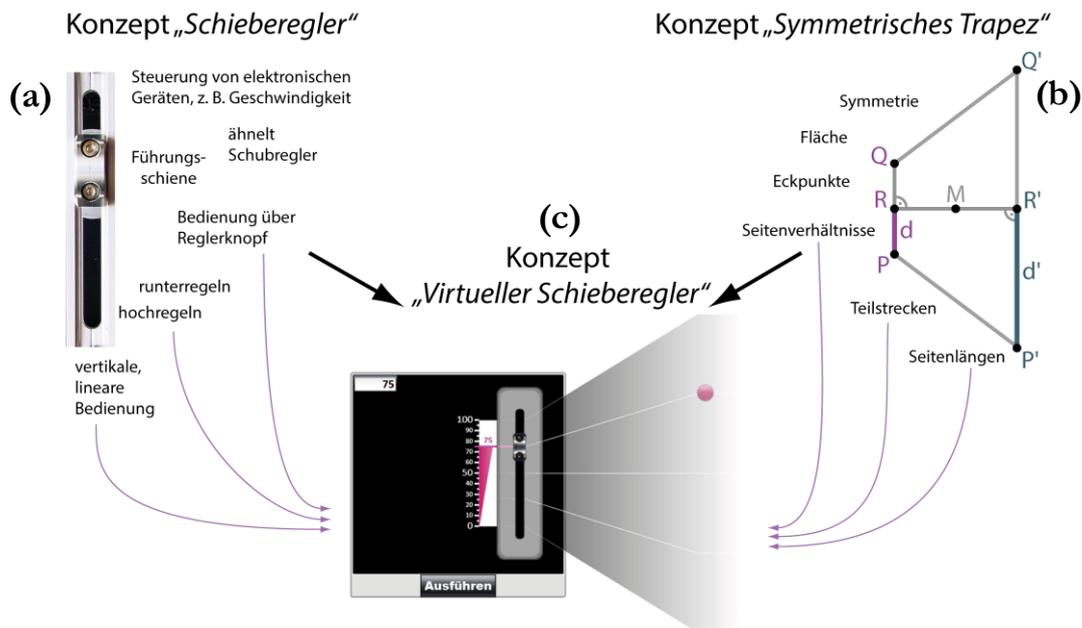


Abbildung 126 Blend des Schiebereglers

(a) Konzept des Schiebereglers mit realer Anmutung eines translatorischen Bedienelements; (b) Konzept des symmetrischen Trapezes mit der Nutzung von digitalen Möglichkeiten; (c) Bedienkonzept des virtuellen Kontrollelements (lässt sich anhand eines Blends erklären, der sich aus den Konzepten des Schiebereglers und des symmetrischen Trapezes zusammensetzt) (Müller, 2012)

Durch Berührung des Schiebeknopfs per Finger wird die Füllstandsanzeige dynamisch auf den entsprechenden Wert angepasst. Wie Abbildung 126b verdeutlicht, besteht der *Input Space* des symmetrischen Trapezes aus zwei parallelen Seiten. Das Längenverhältnis der beiden Teilstrecken zueinander wird beibehalten, es wird lediglich die äußere Seite um den Faktor drei vergrößert (aus d wird d'). Der *Blend* erbt die Eigenschaft des variablen Winkels, da der Berührungspunkt aus der natürlichen Führungsschiene herausgeschoben werden kann (siehe Abbildung 126c).

Der Operator kann den Skalierungsfaktor selbst wählen, indem er die Stellung des Berührungspunkts variiert. Als zusätzliche visuelle Rückmeldung verlässt der fotorealistische Schiebeknopf auf der Schiene seine Führung nicht, sondern setzt sich entsprechend dem Realmaßstab fort. Der Berührungspunkt und der Schiebeknopf sind durch eine Linie verbunden. Der Operator kann je nach Aufgabensituation dynamisch zwischen einer schnellen Bedienweise direkt auf dem Schieberegler oder einer präzisen Bedienweise wählen, indem er den Berührungspunkt nach außen zieht. Das erlaubt eine Bedienung zum Vorteil der *Stellgeschwindigkeit* oder der *Stellgenauigkeit*. Wird der Berührungspunkt losgelassen, wird er zurück auf die entsprechende Stelle des Schiebereglers animiert. Durch direktes Antippen innerhalb der Visualisierung kann ein Zahlenwert ausgewählt werden.

6.1.5 Evaluation

Das Ziel der experimentellen Benutzerstudie ist zunächst die Untersuchung der Konzepte hinsichtlich der beiden Anforderungen *Stellgeschwindigkeit* und *Einprägsamkeit*. Um allerdings eine valide Aussage bezüglich des grundsätzlichen Nutzens einer realitätsbasierten Manipulation von Prozessvariablen treffen zu können, ist die Implementierung von Vergleichsbedingungen (Maus und Tastatur) erforderlich. Das ermöglicht zum einen den Vergleich der realitätsbasierten Eingabeformen und zum anderen den zum vorherrschenden Eingabeparadigma.

Neben einem kontextbezogenen Szenario wird auch ein kontextneutraler Untersuchungsteil unterbreitet. Der erste Teil dient dazu, generalisierbare Aussagen zu den Konzepten ableiten zu können. Dabei soll der Frage nachgegangen werden:

Welche verallgemeinerbare Auswirkung haben die realitätsbasierten Interaktionsformen im Vergleich zu den traditionellen Eingabeformen?

Im zweiten Teil lautet die Fragestellung:

Welche Auswirkung haben die realitätsbasierten Interaktionsformen im Gegensatz zu den traditionellen Eingabeformen im Kontext der Energiegewinnung?

Im Gegensatz zum Konzept in *Design Case II* (siehe Abschnitt 5.2) mit dem Schwerpunkt auf Überwachungs- und Diagnostizität ist die Navigation zur Prozessvariablen in diesem Abschnitt nicht explorativ motiviert. Der Fokus liegt somit nicht auf der Untersuchung, die Navigation zu den Prozessvariablen zu evaluieren. Darüber hinaus wird auf ein kooperatives Aufgabenszenario verzichtet, da die soziale Interaktion nicht Untersuchungsgegenstand ist.

Versuchsaufbau

Die Evaluation hat im Usability-Labor der Universität Konstanz stattgefunden. Die Untersuchung der Maus- und Tastaturbedingung erfolgt an einem Desktop-Computer (siehe Abbildung 127a). Die realitätsbasierten Konzepte werden am Interactive Tabletop getestet (siehe Abbildung 127b).

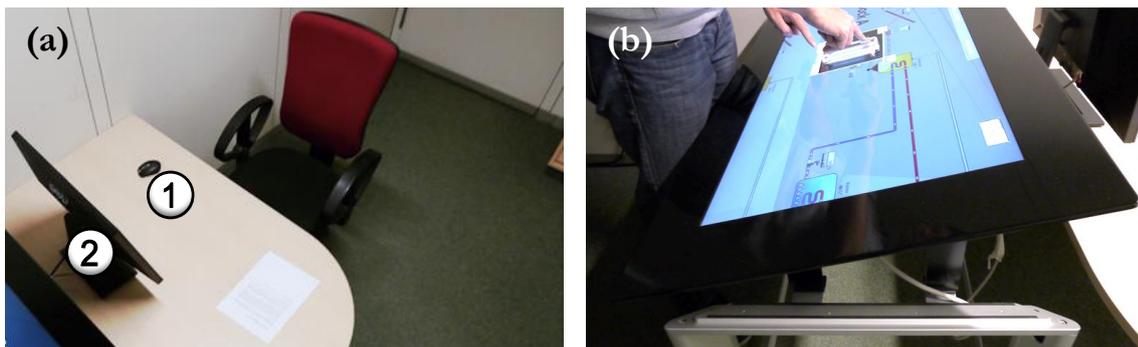


Abbildung 127 Versuchsaufbau für die Evaluation der Manipulationsebene

(a) Positionierung der Eingabegeräte (1) Maus, Tastatur und (2) Bildschirm; (b) Interactive Tabletop SUR40 mit einem ergonomischen Anstellwinkel von 16° nach Bützler et al. (2010)

Als Interactive Tabletop wird das SUR40 von Samsung³⁹ mit einer Auflösung von 1080×920 Pixeln (Bild diagonal 40“) verwendet. Das interaktive Display wird in einer Höhe von 80 cm positioniert. In Anlehnung an Bützler et al. (2010) wird das Display zur Verbesserung einer ergonomischen Bedienung um 16° angestellt. Für Maus- und Tastatureingabe wird ein herkömmlicher Bildschirm (1920×1080 Pixel) eingesetzt.

Im Folgenden werden die exemplarische Prozessvisualisierung und das Interaktionskonzept für das anwendungstypische Szenario vorgestellt. Auf Basis des SPPA-T3000-Leittechniksystems⁴⁰ der Siemens AG wird das Fließbild für den Energiegewinnungsprozess stark vereinfacht (siehe Abbildung 128).

³⁹ <http://www.microsoft.com/en-us/pixelsense/default.aspx>, zuletzt aufgerufen am 20.06.2014.

⁴⁰ <http://www.energy.siemens.com/hq/de/automatisierung/stromerzeugung/sppa-t3000.htm#content=Beschreibung>, zuletzt aufgerufen am 22.06.2014.

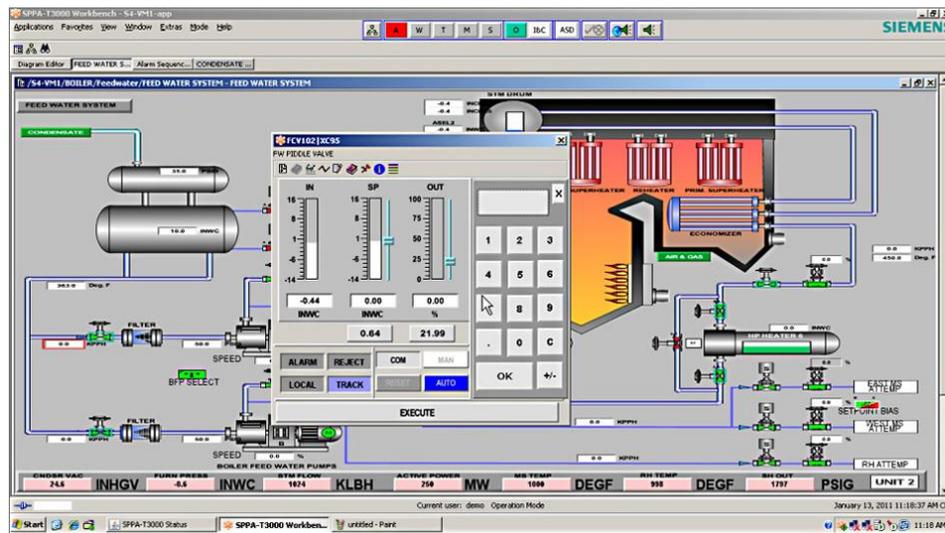


Abbildung 128 Prozessvisualisierung des Leittechniksystems „SPQA-T3000“

Das Fließbild beinhaltet virtuelle Prozesselemente wie Ventile. Darüber hinaus ist ein Dialogfenster mit virtuellem Kontrollelement geöffnet.

Für die Untersuchung wird die funktionale Komplexität des Prozesses der Energiegewinnung reduziert, da der Fokus der vorliegenden Arbeit auf der Gestaltung von realitätsbezogenen Interaktionsformen im Kontext der Werteeingabe liegt, aber nicht auf der Gestaltung einer verbesserten Darstellung von virtuellen Prozesselementen (vgl. Wittenberg, 2001). Das Fließbild wird so gestaltet, dass die Prozessvariablen mit den Nummern eins bis vier (siehe Abbildung 129) direkt vom Nutzer manipuliert werden können. Hierbei werden die Fördermenge sowie sämtliche Durchlassvariablen gewählt, die die physikalischen Größen anschaulich vermitteln sollen. Der Energiegewinnungsprozess wird durch drei Kraftwerksblöcke (A, B und C) umgesetzt, um so die Teilschritte der Navigation zu ermöglichen und gleichzeitig den Prozess in seinem Gesamtumfang komplexer abzubilden.

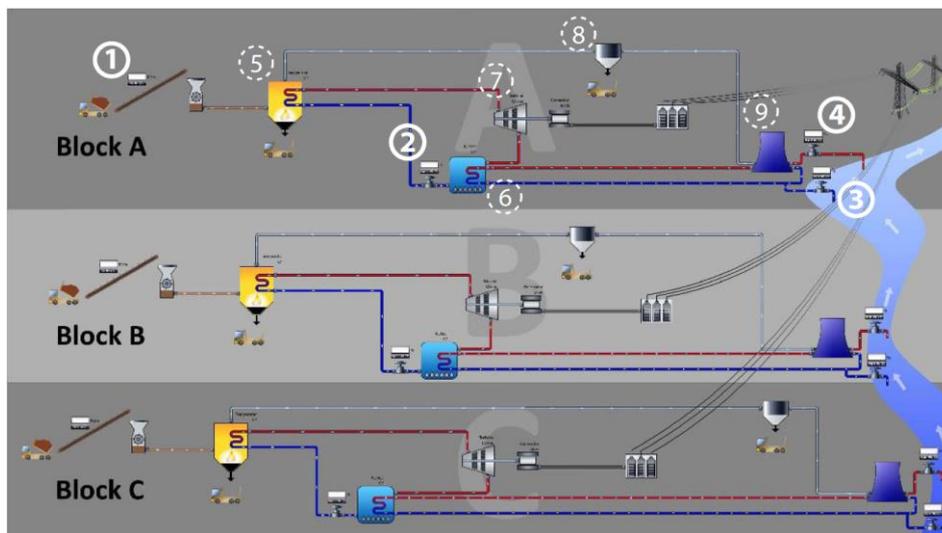


Abbildung 129 Exemplarische Darstellung eines Prozesses zur Energiegewinnung

Die schematische Darstellung auf Basis des Leittechniksystems „SPQA-T3000“ zeigt die drei unabhängigen Kraftwerksblöcke A, B und C mit ihren Prozesselementen (Müller, Schwarz et al., 2014).

Im Folgenden werden am Beispiel von Kraftwerksblock A die Prozesszusammenhänge erläutert. Anhand dieser Prozessvariablen wird die *Kohlmenge* (1) durch den Operator reguliert, die mit dem

Förderband zur *Brennkammer* (5) transportiert und dort entzündet wird. Die Fördermenge wird in Kilogramm pro Minute (kg/min) reguliert. Kohle kann nur zugeführt werden, wenn sie zur Verfügung steht, was der vollgeladene Lastkraftwagen symbolisiert. Die Lastkraftwagen transportieren auch die Asche ab. In der *Brennkammer* (5) wird das Speisewasser erhitzt. Der so entstandene Wasserdampf treibt die *Turbine* (7) im Regelkreis an. Über das *Speisewasserventil* (2) kann der Zufluss zur *Brennkammer* (5) bestimmt werden. Der zu bedienende Wertebereich hierbei liegt zwischen 0% Durchlass (geschlossen) und 100% Durchlass (ganz offen).

Mit einem *Kühlwasserventil* (3) kann die Wasserzufuhr aus dem Fluss vom Operator manuell reguliert werden. Das Wasser im Kühlkreislauf wird durch einen *Kühlturm* (9) heruntergekühlt, um anschließend wieder in den Kreislauf zu gelangen und Energie zu erzeugen. Dabei ist das Ziel, die Temperatur im *Kondensator* (6) möglichst konstant zu halten. Auch hier kann der Durchlass der Wasserzufuhr von geschlossen (0% Durchlass) bis ganz offen (100% Durchlass) manuell variiert werden. Über das *Abflussventil* (4) kann das überschüssige Kühlwasser, das aus dem Kühlturm stammt, zurück in den Fluss gelassen werden. Der Wertebereich ist mit 0% Durchlass oder ganz offen (100% Durchlass) identisch mit dem Kühlwasserventil.

Analog zum Interaktionskonzept auf dem *Curve-Display*, das in Abschnitt 5.2.4 vorgestellt worden ist, ist die Navigation im Prozessausschnitt (siehe Abbildung 130a) an das *Push Background-Prinzip* angelehnt (Johnson, 1995). Der Operator kann auf das mentale Modell der realweltlichen Interaktion mit Karten und Plänen zurückgreifen. Das wird durch ein *Control-Display-Ratio*⁴¹ im Verhältnis von 1:1 (Fingerbewegung = Fließbildbewegung) verstärkt, weil so eine realistische Kartenbewegung unterstützt wird.

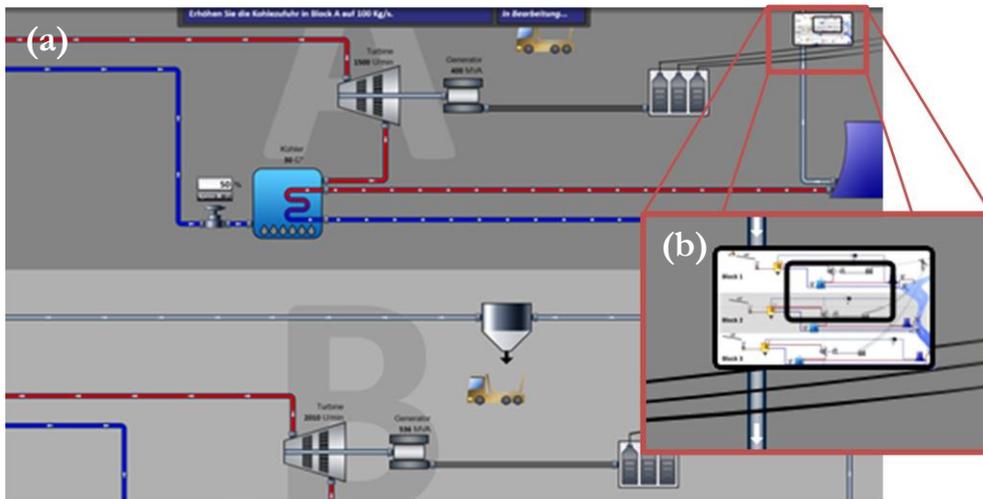


Abbildung 130 Digitaler Prozessausschnitt mit Mini-Kartendarstellung

(a) Im Prozessausschnitt wird in der rechten oberen Ecke (rote Markierung) die Miniaturansicht dargestellt. **(b)** Die Miniaturansicht zeigt den aktuell sichtbaren Ausschnitt des Prozesses.

Die Skalierungsfunktion (Vergrößern und Verkleinern) wird zugunsten der Kontrollierbarkeit deaktiviert. Um für den Operator eine zusätzliche Orientierung zu schaffen, wird eine Miniaturansicht im oberen rechten Bereich platziert (siehe Abbildung 130b). Dem Operator wird dadurch zum einen ein besseres Verständnis von der aktuellen Position und zum anderen eine Relation des aktuellen Ausschnitts mit Bezug zum gesamten Informationsraum vermittelt. Die Experten sind im Rahmen der Fokusgruppe der Meinung (siehe Abschnitt 6.1.3), dass die Rückmeldung des System-

⁴¹ Control-Display-Ratio ist das Verhältnis aus der Bewegungsgeschwindigkeit eines Eingabegeräts und der resultierenden Bewegung des Zeigers (Gibbs, 1962).

zustands auch beim Einsatz von physischen Objekten enorm wichtig ist. Die entwickelten physischen Eingabelemente haben jedoch den Nachteil, dass sie keine Informationen des Prozesszustands entgegennehmen können (vgl. *passive Tangibles*; siehe Abschnitt 6.1.2), was zu einer inkonsistenten Wahrnehmung beim Operator führen kann. Aus diesem Grund wird in der Studie bei einigen Aufgaben die *Wizard-of-Oz*-Methode⁴² eingesetzt. Hierzu wird eine spezielle Schablone erstellt, um die jeweils aktuellen Werte manuell durch eine Person voreinstellen zu können (siehe Abbildung 131a).

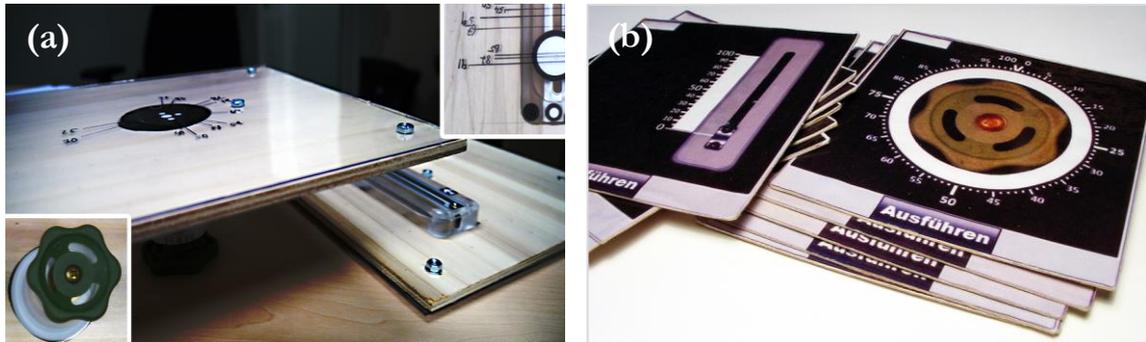


Abbildung 131 Wizard-of-Oz-Schablone und Kärtchen zur Abfrage der Werte

(a) Wizard-of-Oz-Schablone zur Voreinstellung des aktuellen Werts der Prozessvariablen, um die Rückmeldung des Systems zu simulieren, Darstellung des Schiebereglers (rechte obere Ecke) und des Drehreglers (linke untere Ecke); (b) Kärtchen zur Erfassung der Werteingabe (Müller, 2012)

Im Rahmen der Abfrage von Werten bei den Erinnerungsaufgaben (Recallwerte) wird eigens in der Anmutung der jeweiligen Eingabemodalität (Drehregler- oder Schieberegler) eine Template erstellt, in die vom Probanden die entsprechenden Werte eingetragen werden können (siehe Abbildung 131b). Die Recallkärtchen der Eingabemodalität müssen von den Probanden bei den Rekonstruktionsaufgaben im kontextbezogenen Teil im Prozessbild an der richtigen Stelle verankert werden. Dazu wird das Prozessbild als Poster an ein magnetisches Whiteboard angebracht (siehe Abbildung 132a).

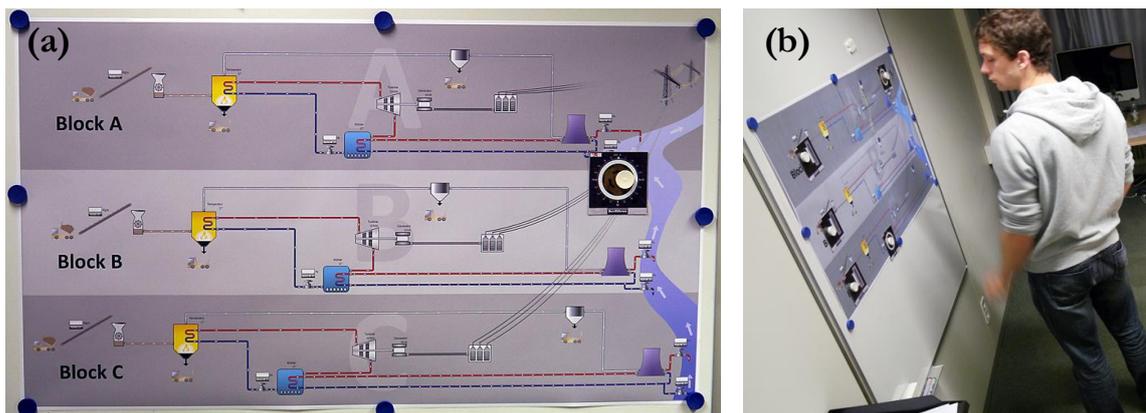


Abbildung 132 Poster des Fließbilds und Proband bei den Recallaufgaben

(a) Für den kontextbezogenen Teil der Untersuchung wird das (digitale) Fließbild in Posterform an ein magnetisches Whiteboard angebracht. (b) Der Proband heftet Recallkärtchen an das Whiteboard (Müller, Schwarz et al., 2014).

Die Probanden können die Recallkärtchen mit den Magneten an die jeweilige Position im Prozess heften (siehe Abbildung 132b).

⁴² Im Rahmen der Methode simuliert der Mensch die zu erwartenden Reaktionen des Systems.

Kontrollbedingung

Für die vorgestellten Konzepte werden zwei Stellteiltypen (Drehregler und Schieberegler) und zwei realitätsbasierte Konzepte (Werteeingabe per Tangible sowie per Touch) an einem Interactive Tabletop entwickelt (siehe Abbildung 133). Als *Kontrollbedingung* dient die Maus- und Tastaturbedienung. Die Eingabe per Maus entspricht dabei dem Konzept der Toucheingabe mit der Bewegung des Touchpunkts mittels des Mauszeigers. Im Gegensatz zur Toucheingabe wird aber die bimanuelle Interaktion nicht unterstützt. Die Tastatureingabe verwendet zwar dieselbe Visualisierung, die tatsächliche Wertemanipulation erfolgt jedoch ausschließlich über das Textfeld. Abbildung 133 verdeutlicht sowohl die Eingabemodalitäten (Tangible, Touch, Maus und Tastatur) als auch die Eingabelemente (Drehregler und Schieberegler).

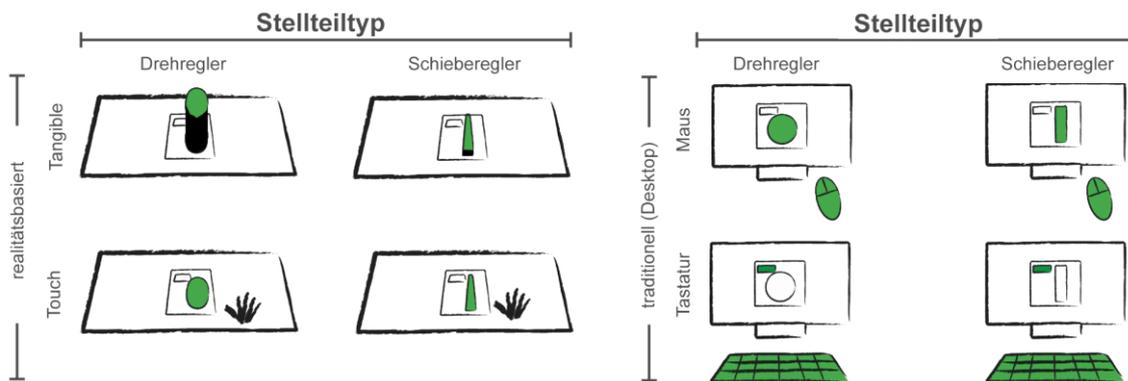


Abbildung 133 Übersicht über die Eingabemodalitäten und Stellteiltypen

Für den Vergleich der realitätsbasierten Konzepte werden zusätzlich zwei traditionelle Eingabekonzepte (Maus und Tastatur) entwickelt (Schwarz, Müller, et al., 2013).

Die Eingabe durch die Maus erfolgt durch indirekte Manipulation, da Eingabegerät und Zeiger im digitalen Prozessbild getrennt sind. Die kinästhetische Bewegungsform ist zwar nicht so stark wie bei den physischen Eingabegeräten, sie kann dennoch beispielsweise durch eine Kreisbewegung bei der Bedienung des Drehreglers wahrgenommen werden. Analog den Touch-Konzepten wird auch eine schnelle Werteeingabe unterstützt, da es keine physischen Begrenzungen durch die Eingabegeräte gibt. So kann beispielsweise der Operator beim Drehreglerelement während eines Stellvorgangs vom höchsten zum niedrigsten Wert abkürzen.

Die Tastatureingabe ist mit der Eingabe auf einer Kommandozeile vergleichbar, die keine Interaktion im Sinne einer realweltlichen Manipulation einer Prozessvariablen beinhaltet. Der Stellvorgang kann zwar schnell ausgeführt werden, es erfolgt aber keine sinnlich-haptische Wahrnehmung, um einen Rückschluss auf die Prozessvariable zu ermöglichen. Bei dieser Modalität wird das Augenmerk bewusst nicht auf die Darstellung eines virtuellen Kontrollelements gelegt, da hierbei das Textfeld im Vordergrund steht.

Versuchsablauf

Im Folgenden wird der Versuchsablauf zum einen für den kontextneutralen und zum anderen für den kontextbezogenen Untersuchungsteil vorgestellt. Die Evaluation wird anhand eines *Within-subjects Designs* ausgeführt. Die Eingabemodalität wird komplett ausbalanciert und im kontextneutralen Teil die Reihenfolge der Eingabelemente randomisiert. Sowohl unter der Tangible- als auch unter der Touchmodalität erfolgt die Bestätigung des Werts per Touch. In der Mausmodalität wird mit der Maus sowie in der Tastatureingabe mit der Entertaste bestätigt. Je nach Eingabemodalität wird zu Beginn jeder Zahlenreihe das virtuelle Kontrollelement eingeblendet oder das Tangible vom Versuchsleiter mittig auf dem Interactive Tabletop platziert.

Kontextneutraler Teil – Die Probanden bearbeiten nach Abfrage der soziodemografischen Daten und der Einführung zuerst die Aufgaben des kontextneutralen Teils. Um verallgemeinerbare Angaben zu den Interaktionskonzepten treffen zu können, wird die Werteeingabe zu Beginn völlig kontextneutral betrachtet. Aus diesem Grund wird das Fließbild nicht eingesetzt (siehe Abbildung 134a).

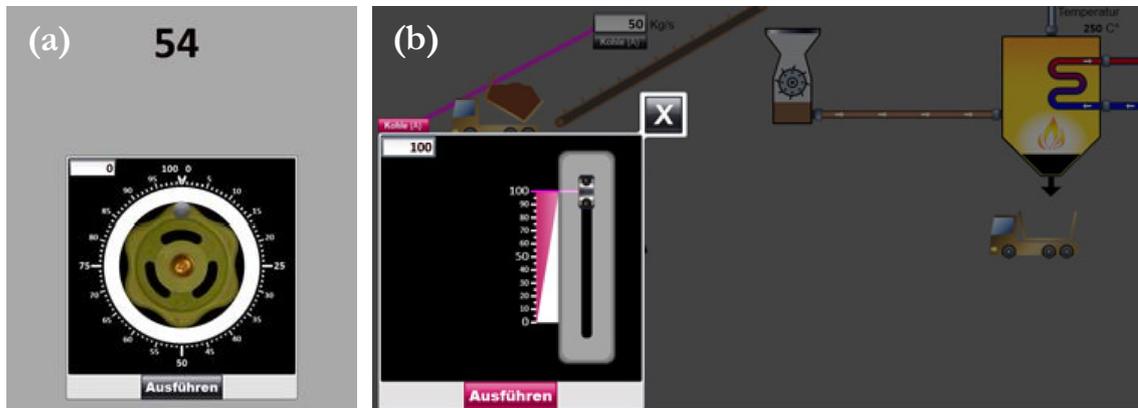


Abbildung 134 Visualisierung kontextneutraler und kontextbezogener Aufgabenteile

(a) Beim kontextneutralen Teil wird das Element mittig auf dem Display platziert (Schwarz, Müller, et al., 2012). (b) Die Elemente werden im Kontext der Prozessübersicht dargestellt. Bei geöffnetem Element wird die Prozessansicht im Hintergrund ausgegraut.

Jeder Versuchsteilnehmer bekommt für die Bedienelemente (Drehregler und Schieberegler) und für jede Eingabemodalität (Tastatur, Maus, Touch und Tangible) sechs aufeinanderfolgende Zahlen zwischen 0 und 100 eingeblendet. Diese müssen aufgabenspezifisch eingegeben und im Anschluss bestätigt werden. Den Teilnehmern wird zu Beginn eine schriftliche Anweisung zu den Aufgaben vorgelegt. Insgesamt bearbeiten die Probanden acht Eingabebedingungen.

In der jeweils darauffolgenden Rekonstruktionsaufgabe bekommt jeder Teilnehmer sechs Kärtchen, worauf das zuletzt bearbeitete Bedienelement dargestellt ist. Hier besteht die Aufgabe in der Beschriftung mit einer der vorgekommenen Zahlen und der Anordnung der Karten in korrekter Reihenfolge. Aufgrund der anzunehmenden Lernkurve bei den realitätsbasierten Konzepten wird der gesamte Ablauf (acht Eingabesequenzen) wiederholt. Somit gibt es zwei Durchläufe beider Bedienelemente in jeder Eingabemodalität, d. h., es müssen insgesamt 16 Zahlenketten bearbeitet werden. Im Anschluss an den Recalltest des zweiten Durchlaufs füllen die Teilnehmer den *NASA-TLX* aus und bewerten die Art und Weise der Werteeingabe. Zusätzlich werden die persönlichen Neigungen im Hinblick auf die Bedienmodalität und des Bedienelements per Fragebogen ermittelt. Abschließend werden die Versuchsteilnehmer im Rahmen eines standardisierten Interviews hinsichtlich ihrer eingesetzten Merkstrategie befragt.

Kontextbezogener Teil – Anders als im zuvor vorgestellten Teil der Studie wird im anwendungsbezogenen Teil das Fließbild aus dem Energiegewinnungsprozess berücksichtigt (siehe Abbildung 134b). Die Manipulation findet dabei direkt an den Variablen im Prozessbild statt. In Verbindung mit der Manipulation muss zunächst im Fließbild zur entsprechenden Prozessvariablen navigiert sowie das Element selektiert werden. Abbildung 135 verdeutlicht die Kombinationen beim manuellen Eingreifen. Die Versuchsteilnehmer müssen in unterschiedlichen Aufgabenszenarien (z. B. Ausfall eines Kraftwerksblocks) mit jeder Eingabemodalität sechs sequenzielle Arbeitsanweisungen befolgen. Diese beinhalten je drei Drehregler- und drei Schieberegler-elemente. Die Aufgaben werden so definiert, dass kein domänenspezifisches Prozesswissen notwendig ist. Die Handlungsanweisungen werden als Textmeldung eingeblendet, die sich aus einer der zu manipulierenden Prozessvariablen und deren zugehörigem Sollwert zusammensetzt. Im Anschluss wird die Aufgabe mit den Naviga-

tions-, Selektions- und Manipulationsschritten bearbeitet (siehe Abbildung 135). Die korrekten Werte werden eingeloggt, sobald der Teilnehmer die Schaltfläche *Ausführen* bestätigt. Aufgrund der sicherheitskritischen Domäne müssen auch die Werteeingaben in den Modalitäten der Maus- und Tastaturbedingung betätigt werden. Eine Anweisung besteht beispielsweise darin, dass an einer bestimmten Prozessvariablen (z. B. Speisewasserventil 1) ein definierter Sollwert (z. B. auf 80% öffnen) einzustellen ist. Je nach Anweisung bzw. benannter Prozessvariablen erfolgt die Bedienung mit Hilfe eines virtuellen oder physischen Kontrollelements.

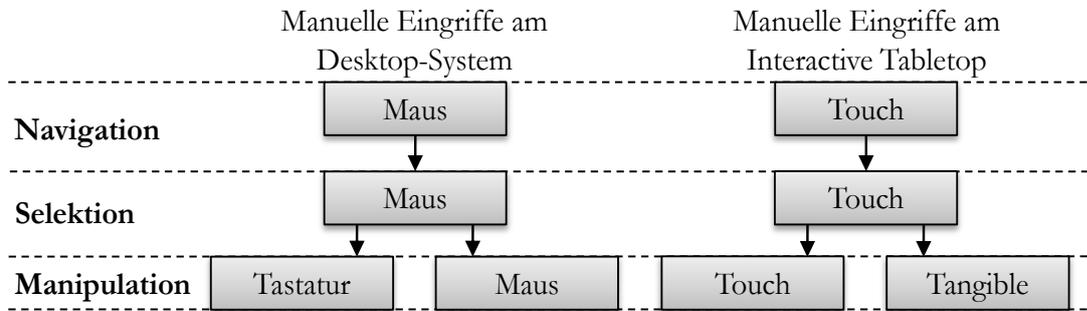


Abbildung 135 Abläufe bei der Manipulation von Prozessvariablen

Je nach Eingriffsart erfolgt eine unterschiedliche Navigation, Selektion und Manipulation der Prozessvariablen.

Am Anfang wird vom Versuchsleiter die Rolle des Kraftwerksoperators, die von den Probanden eingenommen wird, anhand des Prozessbilds erklärt. Im Anschluss folgt eine freie Explorationsphase für die Teilnehmer. Zur Sicherung des Grundverständnisses wird vor Beginn der Aufgabebearbeitung ein Fragebogen zum Prozessverständnis ausgegeben. Falsch beantwortete Fragen werden vom Versuchsleiter nochmals ausführlich erläutert. Die Teilnehmer werden unterrichtet, die Einstellungen schnellstmöglich durchzuführen und sich dabei sämtliche Bedienhandlungen im Gedächtnis zu bewahren. Im Recalltest, der auch am ausgedruckten Papierschlupfplan durch die Recallkärtchen erfolgt, müssen von den Probanden die von ihnen eingegebenen Zahlenwerte der Prozessvariablen rekonstruiert werden. Im Anschluss an den Recalltest wird den Probanden der *NASA-TLX*-Fragebogen zur Beantwortung ausgehändigt. Abschließend werden die Teilnehmer in einem Fragebogen nach ihrer Merkstrategie befragt.

Methoden zur Datenerhebung

Zur Datenerhebung werden wie zuvor in den Untersuchungen neben qualitativen auch quantitative Methoden angewendet, die im Folgenden erläutert werden.

Logging der Einstelldauer – Die *Einstelldauer* wird systemseitig durch ein implementiertes Interaktionslogging ermittelt. Im kontextneutralen Teil der Untersuchung wird die Zeitspanne zwischen zwei korrekten Werteeingaben aufgezeichnet. Hingegen wird im kontextbezogenen Teil die *Einstelldauer* als das Zeitintervall zwischen der Selektion der Prozessvariablen und der abschließenden Bestätigung des korrekt eingegebenen Werts durch den Probanden definiert. Um die Validität der Daten sicherzustellen, wird von allen Zahlensequenzen im kontextneutralen Teil die jeweils erste Zahl in der Auswertung nicht berücksichtigt. Grund hierfür ist, dass theoretisch mehr Zeit zur Verfügung steht, sich die angezeigten Werte einzuprägen.

Recallwerte – Die Recallwerte werden im kontextneutralen Teil auch um die anfängliche Zahlensequenz reduziert. Die korrekt bestimmten Zahlenwerte der Nutzer werden für jede Sequenz aufsummiert. Im kontextneutralen Teil wird ein Wert als korrekt für die Auswertung herangezogen, wenn die Zahl und Reihenfolge übereinstimmen. Hingegen werden in der kontextbezogenen Evaluation die Angaben als korrekt gewertet, wenn es eine Übereinstimmung von Zahl und Prozessvariablen gibt.

Fragebogen – Als Fragebogeninstrument werden zum einen eigens ein Fragebogen zur subjektiven Bewertung entwickelt und zum anderen der *NASA-TLX* (Hancock et al., 1988) zum Erfassen der Beanspruchung eingesetzt. Somit werden die Dimensionen *geistige Anforderung*, *körperliche Anforderung*, *zeitliche Anforderung*, *Aufgabenbewältigung*, *Anstrengung* und *Frustration* bewertet. Über die unterschiedlichen Eingabebedingungen hinweg wird zusätzlich ein *Overall Workload Score* für die Gesamtbeanspruchung berechnet. Zusätzlich werden neben den soziodemografischen Daten die Präferenzen der Eingabemodalitäten mit Fragebogen (Fünf-Punkte-Likert-Skala) ermittelt.

Stichprobe

An der Studie nehmen neun weibliche und 15 männliche Personen mit einem Durchschnittsalter von 25.43 Jahren ($SD = 3.17$) teil. Die Zusammensetzung der Teilnehmer besteht aus 19 Studenten, drei Personen in Ausbildung und zwei Berufstätigen. Davon sind 19 Rechtshänder und fünf Linkshänder. Die Computerexpertise wird von den Probanden auf einer Skala von 1 *Anfänger* bis 5 *Experte* mit $M = 3.38$ ($SD = 0.88$) angegeben. 75% der Probanden haben bereits Erfahrung mit Touchscreens (mittlerer Gebrauch von $M = 2.94$ ($SD = 1.68$) auf einer Skala von 1 *sehr selten* bis 5 *sehr häufig*).

Operationalisierung und Ableitung der Hypothesen

In diesem Abschnitt werden zur Überprüfung der Hypothesen unabhängige und abhängige Variablen definiert, um die Effekte in der Studie zu evaluieren und zu diskutieren.

Unabhängige Variable – Als unabhängige Variable werden die zwei Faktoren *Eingabemodalität* (Tastatur, Maus, Touch und Tangible) und *Eingabeelement* (Drehregler und Schieberegler) abgeleitet.

Abhängige Variable – Die wesentlichen Wirkungsmerkmale sind sowohl die *Stellgeschwindigkeit*, die in Form der *Einstelldauer* repräsentiert wird, als auch die *Einprägsamkeit* von Werten bei der Manipulation von Prozessvariablen. Diese Variablen werden im Rahmen der Nutzungskontextanalyse (siehe Abschnitt 3.2.3) und der Anforderungsanalyse mit den Experten (siehe Abschnitt 6.1.3) identifiziert. Die Zeitspanne während der *Einstelldauer* wird exakt durch das Interaktionslogging erhoben, wenn der einzustellende Wert in der entsprechenden Eingabemodalität korrekt eingegeben wird. Die *Einprägsamkeit* wird anhand der Rekonstruktionsaufgabe durch Recalltests abgefragt. Hierbei wird der korrekt wiedergegebene Wert mit Übereinstimmung der Reihenfolge gezählt. Darüber hinaus wird der Bedienaufwand als abhängige Variable definiert, und die subjektiv wahrgenommenen Anstrengungen werden anhand *NASA-TLX*-Fragebogens abgefragt. Zusätzlich wird die Präferenz in Bezug auf die Eingabebedingung in die Auswertung einbezogen.

Der Bedienaufwand und die Präferenz der Eingabebedingung werden nicht zur Formulierung der Hypothesen herangezogen, sie werden als Ergänzung zur Interpretation der Ergebnisse eingesetzt. In der kontextbezogenen Studie können die abhängigen Variablen nicht einzeln voneinander analysiert werden, da im Prozessbild die Anzahl der Elemente nicht identisch ist. Somit könnte die unterschiedliche Anzahl der Elemente den Recalltest beeinflussen.

Hypothesen – Bezüglich der *Einstelldauer* werden sowohl der Faktor Eingabeelement (Drehregler und Schieberegler) als auch der Faktor Eingabemodalität (Tastatur, Maus, Touch und Tangible) als Haupteffekte angenommen. Aufgrund der Abhängigkeiten wird eine beidseitige Beeinflussung der beiden Faktoren erwartet. Folgende Hypothesen lassen sich in diesem Zusammenhang für die *Einstelldauer* ableiten:

H1: Das Eingabeelement hat Auswirkung auf die *Einstelldauer*.

H2: Die Eingabemodalität hat Auswirkung auf die *Einstelldauer*.

H3: Es bestehen Interaktionseffekte der zwei Faktoren für die *Einstelldauer*.

Kein Haupteffekt wird bei den Eingabeelementen hinsichtlich der *Einprägbarkeit* vermutet. Hingegen wird dem Faktor Eingabemodalität ein großer Effekt zugeschrieben. Darüber hinaus wird vermutet, dass mit Blick auf die geringe Effektgröße der Eingabeelemente keine gegenseitige Beeinflussung der beiden Faktoren stattfindet. Für die *Einprägbarkeit* lassen sich folgende Hypothesen ableiten:

H4: Das Eingabeelement hat keine Auswirkung auf die *Einprägbarkeit*.

H5: Die Eingabemodalität hat Auswirkung auf die *Einprägbarkeit*.

H6: Es bestehen keine Interaktionseffekte der zwei Faktoren für die *Einprägbarkeit*.

Bei der genauen Betrachtung der Modalität wird angenommen, dass die größten Unterschiede in Bezug auf die *Einstelldauer* und *Einprägbarkeit* zwischen den Eingabebedingungen Tastatur und Tangible zu erwarten sind. Folglich lassen sich zwei Hypothesen formulieren:

H7: Die Eingabemodalität Tastatur unterscheidet sich bezüglich der *Einstelldauer* von der Modalität Tangible.

H8: Die Eingabemodalität Tastatur unterscheidet sich bezüglich der *Einprägbarkeit* von der Modalität Tangible.

Ergebnisse

In den folgenden Abschnitten werden zuerst die Ergebnisse des kontextneutralen Teils und im Anschluss daran die des kontextbezogenen Teils berichtet.

Kontextneutraler Teil – Zunächst werden die Ergebnisse des ersten Aufgabenblocks der *Einstelldauer* und *Einprägbarkeit* vorgestellt, die anhand der aufgestellten Hypothesen überprüft worden sind. Darauf aufbauend, werden die subjektiven Einschätzungen der Probanden berichtet.

Die *Einstelldauer* und *Einprägbarkeit* werden in zwei Bediendurchläufen erfasst, um eine möglichst hohe Testreliabilität zu erreichen. Es wird vermutet, dass die realitätsbasierten Bedienkonzepte (Touch und Tangible) sich stark auf den Lerneffekt der Probanden auswirken könnten. Dieser Effekt würde sich an der benötigten *Einstelldauer* widerspiegeln (siehe Abbildung 136).

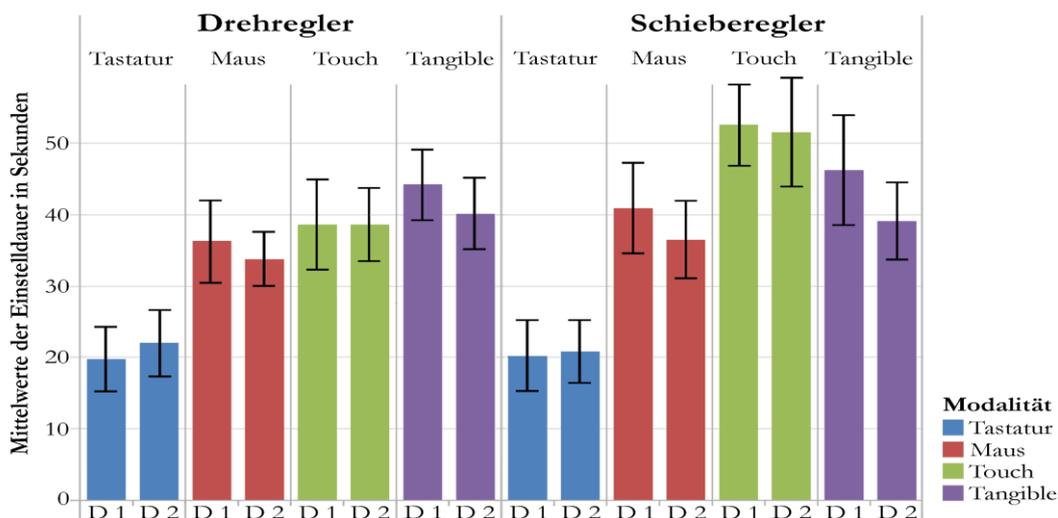


Abbildung 136 Vergleich der Einstelldauer in der kontextneutralen Evaluation

Die Grafik zeigt den Vergleich des ersten Durchlaufs (D1) mit dem zweiten Durchlauf (D2) bezüglich der Einstelldauer in den jeweiligen Modalitäten.

Abbildung 136 verdeutlicht, dass die *Einstelldauer* der realitätsbasierten Bedienkonzepte bei der Eingabemodalität Touch und Drehregler gleich bleibt oder sich bei den restlichen Modalitäten in Verbindung mit den Elementen verbessert.

In Hinblick auf die Lernkurve und die damit verbundene Validität der Daten wird für die Analyse und die Überprüfung der Hypothesen der *Einstelldauer* und *Einprägsamkeit* der zweite Durchlauf betrachtet. Für alle Signifikanzannahmen gilt ein Signifikanzniveau von $p < .05$.

Im Anschluss werden die Ergebnisse in Bezug auf die *Einstelldauer* berichtet. Dabei werden folgende Hypothesen überprüft:

H1: Das Eingabeelement hat Auswirkung auf die *Einstelldauer*.

H2: Die Eingabemodalität hat Auswirkung auf die *Einstelldauer*.

H3: Es bestehen Interaktionseffekte der zwei Faktoren für die *Einstelldauer*.

H7: Die Eingabemodalität Tastatur unterscheidet sich bezüglich der *Einstelldauer* von der Modalität Tangible.

Durchschnittlich benötigen die Probanden für die Eingabemodalität Touch im Schiebereglerelement ($M = 51.41$ s, $SD = 15.37$ s) die meiste Zeit. Hingegen wird für die Modalität Tastatur im Schiebereglerelement ($M = 20.82$ s, $SD = 8.86$ s) am wenigsten Zeit in Anspruch genommen. Tabelle 14 gibt einen Überblick bezüglich der *Einstelldauer* über Modalitäten und Elemente hinweg. Die erhobenen Daten sind mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test positiv auf Normalverteilung überprüft worden.

Tabelle 14 **Einstelldauer für die Eingabemodalitäten und Eingabeelemente**

Element	Modalität	N	Min (s)	Max (s)	M (s)	SD (s)
Drehregler	Tastatur	24	9.98	47.10	21.99	9.39
	Maus	24	20.74	48.43	33.66	7.63
	Touch	24	25.07	68.38	38.59	10.36
	Tangible	24	21.66	62.24	40.08	10.09
Schieberegler	Tastatur	24	8.61	40.82	20.82	8.86
	Maus	24	22.00	79.12	36.43	10.97
	Touch	24	26.52	75.50	51.41	15.37
	Tangible	24	22.35	57.40	38.99	10.90

Die Hypothesen *H1*, *H2* sowie *H3* werden mittels zweifaktorieller ANOVA (mit Messwiederholung) überprüft. Sowohl der Haupteffekt des Faktors Eingabeelement ($F(1, 23) = 10.57, p = .004$) als auch der des Faktors Eingabemodalität bezüglich der *Einstelldauer* ($F(3, 69) = 74.74, p = .000$) sind signifikant. Auch die Interaktion ist bei den abhängigen Faktoren Eingabemodalität und Eingabeelement signifikant ($F(3, 69) = 7.94, p = .000$). Somit bestätigen sich die zuvor definierten Hypothesen *H1* (Das Eingabeelement hat Auswirkung auf die *Einstelldauer*.), *H2* (Die Eingabemodalität hat Auswirkung auf die *Einstelldauer*.) und *H3* (Es bestehen Interaktionseffekte der zwei Faktoren für die *Einstelldauer*.). Mit dem Post-hoc-Test wird Hypothese *H7* überprüft. Für den Faktor Eingabeelement wird eine einfaktorielle ANOVA für die jeweiligen Eingabemodalitäten ausgeführt. Die paarweisen Vergleiche werden anhand der Bonferroni-Anpassung überprüft. Die *Einstelldauer* mit der Tastatur ($M = 21.99$ s, $SD = 9.39$ s) ist beim Drehreglerelement signifikant kürzer als durch das Tangible ($M = 40.08$ s, $SD = 10.09$ s, $p = .000$).

Auch beim Schieberegler ergibt der Vergleich (paarweise) der Eingabemodalitäten Tastatur ($M = 20.82$ s, $SD = 8.86$ s) und Tangible ($M = 38.99$ s, $SD = 10.90$ s) eine signifikant kürzere *Einstelldauer* ($p = .000$). Die Hypothese *H7* findet Bestätigung, da die *Einstelldauer* der Tastaturmodalität in beiden Eingabeelementen signifikant kürzer ist als in der entsprechenden Tangiblemodalität.

Im Folgenden werden die restlichen Mittelwerte vom Drehregler- und Schiebereglerelement berichtet. Die *Einstelldauer* mit der Tastatur ($M = 21.99$ s, $SD = 9.39$ s) ist beim Drehreglerelement signifikant kürzer als durch die Maus ($M = 33.66$ s, $SD = 7.63$ s, $p = .000$) und Touch ($M = 38.59$ s, $SD = 10.36$ s, $p = .000$). Die Eingabe mit der Maus ($M = 33.66$ s, $SD = 7.63$ s) ist signifikant schneller als beim Tangible ($M = 40.08$ s, $SD = 10.09$ s, $p = .000$). Ferner ist die Eingabe beim Drehreglerelement mit der Maus ($M = 33.66$ s, $SD = 7.63$ s) signifikant schneller als die per Tangible ($M = 40.08$ s, $SD = 10.09$ s, $p = .000$).

Die *Einstelldauer* beim Schieberegler mit der Tastatur ($M = 20.82$ s, $SD = 8.86$ s) ist signifikant kürzer als bei der Maus ($M = 36.43$ s, $SD = 10.97$ s, $p = .000$) und Touch ($M = 51.41$ s, $SD = 15.37$ s, $p = .000$). Auch die Eingabe mit dem Schieberegler per Maus ($M = 36.43$ s, $SD = 10.97$ s) erfolgt signifikant schneller als bei der Touchmodalität ($M = 51.41$ s, $SD = 15.37$ s, $p = .000$). Außerdem ist beim Schieberegler die Tangiblemodalität ($M = 38.99$ s, $SD = 10.90$ s) signifikant schneller als die der Touchmodalität ($M = 51.41$ s, $SD = 15.37$ s, $p = .007$).

Beim Vergleich der Eingabeelemente innerhalb einer Eingabemodalität zeigt sich, dass bei Touch die *Einstelldauer* für den Drehregler ($M = 38.59$ s, $SD = 10.36$ s) signifikant geringer ist als für den Schieberegler ($M = 51.41$ s, $SD = 15.37$ s, $p = .001$).

Nachfolgend werden die Ergebnisse in Bezug auf die *Einprägbarkeit* berichtet. Dabei werden folgende Hypothesen überprüft:

H4: Das Eingabeelement hat keine Auswirkung auf die *Einprägbarkeit*.

H5: Die Eingabemodalität hat Auswirkung auf die *Einprägbarkeit*.

H6: Es bestehen keine Interaktionseffekte der zwei Faktoren für die *Einprägbarkeit*.

H8: Die Eingabemodalität Tastatur unterscheidet sich bezüglich der *Einprägbarkeit* von der Modalität Tangible.

Im Zusammenhang mit der *Einprägbarkeit* wird in der Modalität Tangible der höchste Recallwert für beide Eingabeelemente erzielt. Beim Drehregler beträgt der Recallmittelwert $M = 3.71$ ($SD = 1.30$) und beim Schieberegler $M = 3.58$ ($SD = 1.47$). Hingegen zeigen sich bei der Mausbedingung beim Drehregler ($M = 2.71$, $SD = 1.57$) und Schieberegler ($M = 2.67$, $SD = 1.71$) die geringsten durchschnittlichen Recallwerte. Tabelle 15 zeigt die deskriptive Statistik der *Einprägbarkeit*. Die Daten sind mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test positiv auf Normalverteilung geprüft worden.

Tabelle 15 Einprägbarkeit im zweiten Durchlauf für den kontextneutralen Teil

Element	Modalität	<i>N</i>	<i>Min</i> (n)	<i>Max</i> (n)	<i>M</i>	<i>SD</i>
Drehregler	Tastatur	24	0	5	2.96	1.68
	Maus	24	0	5	2.71	1.57
	Touch	24	0	5	3.62	1.37
	Tangible	24	0	5	3.71	1.30
Schieberegler	Tastatur	24	0	5	3.00	1.41
	Maus	24	0	5	2.67	1.71
	Touch	24	0	5	3.46	1.74
	Tangible	24	0	5	3.58	1.47

Anhand der zweifaktoriellen ANOVA (mit Messwiederholung) werden *H4*, *H5* und *H6* überprüft. Bei der Anwendung des Mauchly-Tests, der die Sphärizitätsannahme prüft, ergibt sich eine Verletzung der ANOVA mit Messwiederholung. Zur Korrektur des F-Werts wird die Formel nach

Greenhouse-Geisser verwendet. Der Haupteffekt ist nicht signifikant bezüglich der Eingabeelemente (Drehregler und Schieberegler) im Hinblick auf die *Einprägsamkeit* ($F(1, 23) = .06, p = .808$). Jedoch ergibt die Eingabemodalität (Tastatur, Maus, Touch und Tangible) einen signifikanten Haupteffekt ($F(3, 69) = 6.44, p = .001$). Darüber hinaus lassen sich keine signifikanten Interaktionseffekte zwischen dem Eingabeelement und der Eingabemodalität ($F(2.59, 59.73) = .05, p = .984$) feststellen. Somit werden die Hypothesen *H4* (Das Eingabeelement hat keine Auswirkung auf die *Einprägsamkeit*.), *H5* (Die Eingabemodalität hat Auswirkung auf die *Einprägsamkeit*.) und *H6* (Es bestehen keine Interaktionseffekte der zwei Faktoren für die *Einprägsamkeit*.) bestätigt.

Durch einen paarweisen Vergleich (Bonferroni-korrigiertes Signifikanzniveau), basierend auf geschätztem Randmittel, wird *H8* überprüft. Der Vergleich zwischen den Eingabemodalitäten Tastatur ($M = 2.98, SD = 1.54$) und Tangible ($M = 3.65, SD = 1.36$) ergibt keinen signifikanten Unterschied bezüglich des Recallwerts. Auf Basis dieser Analyse lässt sich *H8* (Die Eingabemodalität Tastatur unterscheidet sich bezüglich der *Einprägsamkeit* von der Modalität Tangible.) nicht bestätigen.

Eine zusätzliche Bewertung sowohl der Eingabeelemente als auch der Modalitäten wird mittels des *NASA-TLX* im Hinblick auf die Arbeitsbeanspruchung vorgenommen. Um Ergebnisse vergleichbarer Qualität über die sechs Dimensionen hinweg zu erzielen, wird auf die Gewichtung der unterschiedlichen Subskalen verzichtet (Byers et al., 1989).

Abbildung 137 zeigt den *Overall Workload Score* der jeweiligen Elemente Drehregler und Schieberegler in Bezug auf die vier unterschiedlichen Eingabemodalitäten. Die Modalität Tastatur verzeichnet sowohl für den Drehregler ($M = 26.84, SD = 22.05$; Skala von 0 *keine* bis 100 *maximale Beanspruchung*) als auch für den Schieberegler ($M = 27.71, SD = 18.68$) den niedrigsten Score. Die höchsten Beanspruchungswerte werden beim Schieberegler in der Touch- ($M = 40.52, SD = 18.64$), Tangible- ($M = 39.93, SD = 16.15$) und Mausmodalität ($M = 37.19, SD = 16.17$) erzielt. Diese Werte zeigen, dass eine leicht höhere Beanspruchung beim Schieberegler wahrgenommen wird als bei den Varianten Maus ($M = 34.93, SD = 16.83$), Touch ($M = 35.00, SD = 13.43$) und Tangible ($M = 36.28, SD = 15.79$) beim Drehregler.

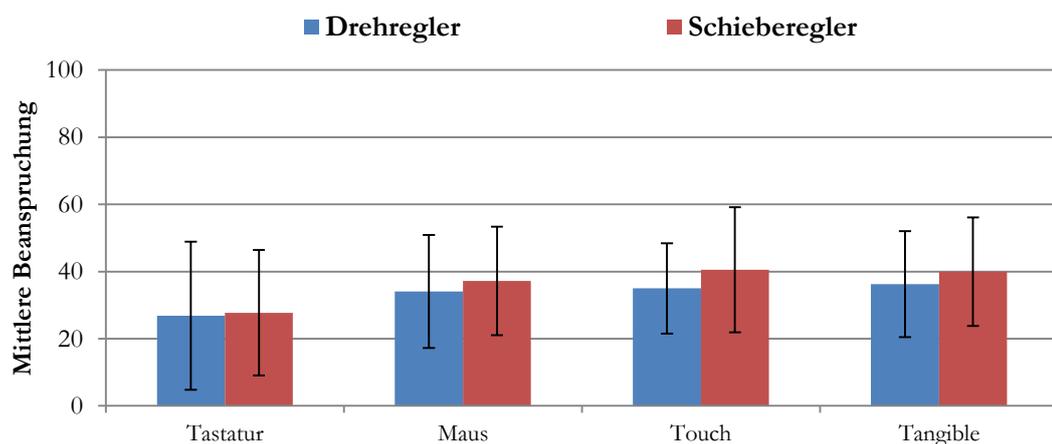


Abbildung 137 Auswertung des Overall Workload Score

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Subskalen des *NASA-TLX* vom Drehregler berichtet, der tendenziell etwas weniger Beanspruchung auf einer Skala von 0 *keine* bis 100 *maximale Beanspruchung* bei den Probanden hervorgerufen hat. Die Überprüfung des Signifikanzniveaus erfolgt mit an Bonferroni angepassten paarweisen Vergleichen. Zur Überprüfung der Signifikanzen wird der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test verwendet. Abbildung 138 gibt einen Überblick über die durchschnittlichen Bewertungen der Subskalen. Die Ergebnisse der Auswertung zeigen, dass über alle sechs Dimensionen der Beanspruchung hinweg die Werte im unteren Skalenbereich angeordnet

sind. Im Allgemeinen zeigt sich bei der Auswertung anhand der hohen Standardabweichungen, dass die Probanden sehr kontrovers bewertet haben.

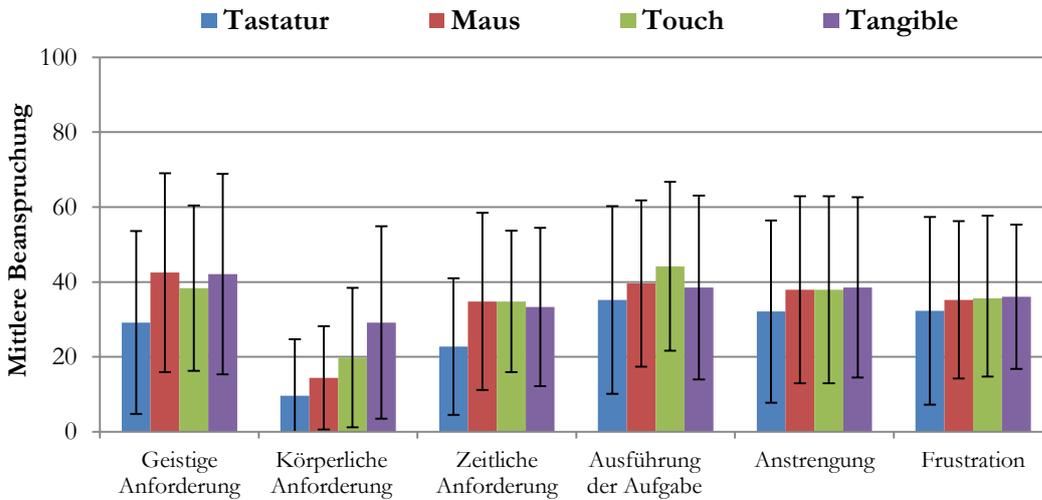


Abbildung 138 Bewertung der Subskalen des NASA-TLX für den Drehregler

Die Varianzanalyse ergibt außer bei den *körperlichen Anforderungen* keine statistisch signifikanten Unterschiede. Die *körperlichen Anforderungen* werden gegenüber den anderen Dimensionen der Subskalen am geringsten bewertet. Am schwächsten ist die Belastung bei der Tastatur ($M = 9.58$, $SD = 15.13$), gefolgt von der Maus- ($M = 14.38$, $SD = 13.79$) und Touchmodalität ($M = 19.79$, $SD = 18.62$). Der höchste durchschnittliche Wert wird mit $M = 29.17$ ($SD = 25.69$) beim Tangible gemessen. Die Varianzanalyse ergibt einen statistisch signifikanten Unterschied sowohl zwischen der Tastatur- und Touchmodalität ($t(23) = 3.06$, $p = .033$) als auch der Maus- und Tangiblemodalität ($t(23) = 3.27$, $p = .020$). Die Unterschiede der restlichen Modalitäten sind nicht signifikant.

Die mittleren Beanspruchungswerte (Skala von 0 *keine* bis 100 *maximale Beanspruchung*) des Schiebereglers ($M = 34.63$, $SD = 5.35$), die im Folgenden berichtet werden, werden über die unterschiedlichen Eingabemodalitäten hinweg im Gegensatz zum Drehregler ($M = 33.07$, $SD = 6.58$) etwas schlechter bewertet (siehe Abbildung 139).

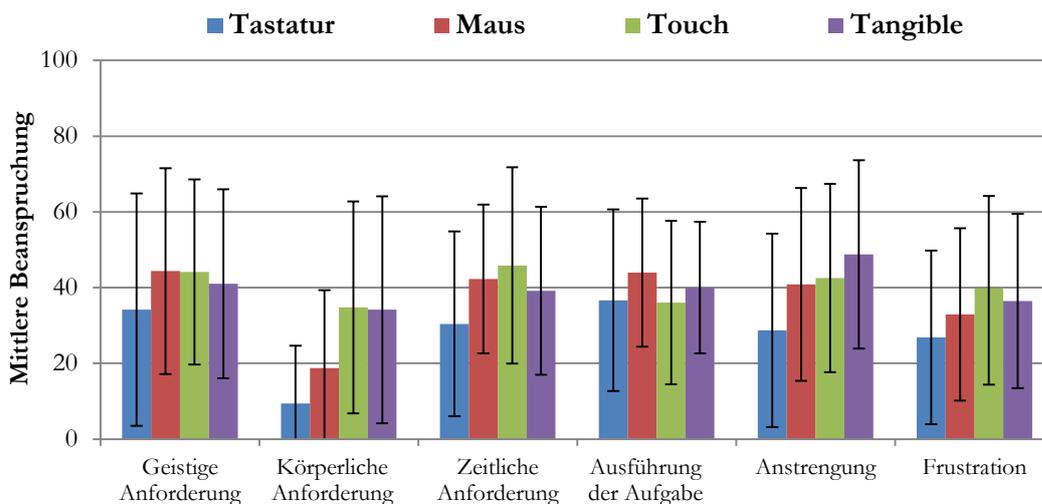


Abbildung 139 Bewertung der Subskalen des NASA-TLX für den Schieberegler

Auch hier wird mit den an Bonferroni angepassten paarweisen Vergleichen das Signifikanzniveau geprüft. Die Varianzanalyse ergibt in Bezug auf die *körperlichen Anforderungen* und *Anstrengungen* statis-

tisch signifikante Unterschiede. So lassen sich wie zuvor beim Drehregler deutliche Unterschiede in Bezug auf die *körperliche Anforderung* zwischen den Modalitäten ableiten.

Die *körperliche Anforderung* ist bei der Tastatur ($M = 9.38, SD = 15.30$) und Maus ($M = 18.75, SD = 20.58$) am geringsten. Die realitätsbasierten Interaktionsformen (Touch: $M = 34.79, SD = 28.01$ und Tangible: $M = 34.17, SD = 29.95$) werden im Durchschnitt ähnlich bewertet. Der Unterschied zwischen Tastatur und Touch ($t(23) = 4.25, p = .002$) sowie Tastatur und Tangible ($t(23) = 4.02, p = .003$) ist dabei jeweils statistisch signifikant. Weiterhin ergibt die Analyse des Signifikanzniveau statistisch signifikante Unterschiede zwischen Maus und Touch ($t(23) = 3.10, p = .030$) und auch zwischen Maus und Tangible ($t(23) = 3.18, p = .025$).

In der Subskala *Anstrengung* bei der Aufgabenbewältigung wird im Mittel für die Tastatureingabe der niedrigste ($M = 28.75, SD = 25.55$) und für die Tangibleeingabe ($M = 48.75, SD = 24.89$) der höchste Beanspruchungswert angegeben. Ähnliche Werte erzielen die Maus- ($M = 40.83, SD = 25.44$) und Touchmodalität ($M = 42.50, SD = 24.87$). Die Varianzanalyse ergibt einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der Tastatur- und Tangiblemodalität ($t(23) = 2.59, p = .043$). Die Unterschiede der restlichen Modalitäten sind nicht signifikant. In Tabelle 16 sind die Unterschiede der Bewertung von Elementen und Modalitäten zusammengefasst.

Tabelle 16 Überblick über die Beanspruchung der Elemente und Modalitäten

Subskalen	Element	Tastatur und Maus		Tastatur und Touch		Tastatur und Tangible		Maus und Touch		Maus und Tangible		Touch und Tangible	
		<i>t</i> (23)	<i>p</i>	<i>t</i> (23)	<i>p</i>	<i>t</i> (23)	<i>p</i>	<i>t</i> (23)	<i>p</i>	<i>t</i> (23)	<i>p</i>	<i>t</i> (23)	<i>p</i>
Geistige Anforderung	Drehregler	2.06	.308	0.67	1	2.06	.308	0.79	1	0.07	1	0.67	1
	Schieberegler	1.63	.070	1.35	1	1.10	1	0.03	1	0.60	1	0.60	1
Körperliche Anforderung	Drehregler	2.01	.335	3.06	.033	1.86	.457	1.64	.692	3.27	.020	1.86	.457
	Schieberegler	2.44	.138	4.25	.002	4.02	.003	3.10	.030	3.18	.025	0.13	1
Zeitliche Anforderung	Drehregler	2.19	.233	2.60	.096	2.12	.272	0.01	1	0.27	1	0.62	1
	Schieberegler	2.11	.274	2.04	.314	1.43	1	0.71	1	0.81	1	1.82	.488
Ausführung der Aufgabe	Drehregler	0.62	1	1.36	1	0.58	1	0.93	1	0.15	1	1.10	1
	Schieberegler	1.44	.980	0.08	1	0.59	1	1.31	1	0.83	1	0.74	1
Anstrengung	Drehregler	1.13	1	1.43	.997	1.12	1	0.17	1	0.12	1	0.26	1
	Schieberegler	2.54	.110	2.05	.309	2.59	.043	0.30	1	1.55	.812	1.30	1
Frustration	Drehregler	0.45	1	0.51	1	0.78	1	0.10	1	0.16	1	0.09	1
	Schieberegler	1.48	.915	1.70	.610	1.62	.709	1.21	1	0.75	1	0.64	1

Im Folgenden werden die Ergebnisse der subjektiven Zufriedenheit bezüglich der Elemente Dreh- und Schieberegler berichtet (siehe Abbildung 140).

In der Mausbedingung werden für den Drehregler ein Wert von $Md = 1$ ($M = 0.63$, $SD = 1.07$; Skala von -2 *überhaupt nicht gefallen* bis 2 *sehr gefallen*) und für den Schieberegler ($Md = 0$; $M = -0.33$, $SD = 1.07$) ermittelt. In der Touchmodalität werden der Drehregler mit $Md = 1$ ($M = 0.71$, $SD = 1.06$) und der Schieberegler mit $Md = -1$ ($M = -0.71$, $SD = 1.02$) bewertet.

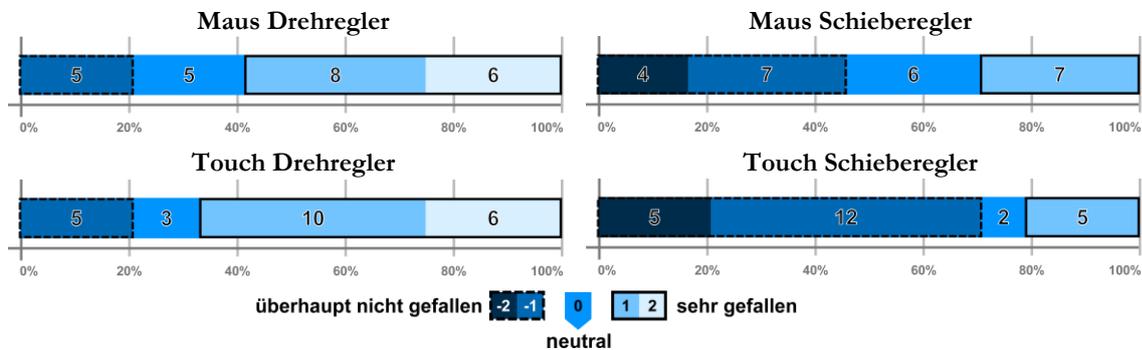


Abbildung 140 Bewertung der Maus- und Touchmodalität in Bezug auf die Elemente⁴³

Der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test zeigt sowohl signifikante Unterschiede für die Elemente Dreh- und Schieberegler bei der Mausmodalität ($Z = -2.79$, $p = .005$) als auch bei der Touchmodalität ($Z = -3.54$, $p = .000$). Keine signifikanten Zusammenhänge gibt es in der Tangiblebedingung zwischen dem Dreh- und Schieberegler (siehe Abbildung 141), die daher zusammengefasst betrachtet werden können (Drehregler: $Md = 1$; $M = 0.58$, $SD = 1.15$; Schieberegler: $Md = 0$; $M = 0.04$, $SD = 1.27$). Entsprechendes gilt bei der Tastaturbedingung (Drehregler: $Md = 1$; $M = 0.58$, $SD = 1.04$; Schieberegler: $Md = 1$; $M = 0.67$, $SD = 1.07$). Auch hierbei gibt es keine signifikanten Unterschiede.

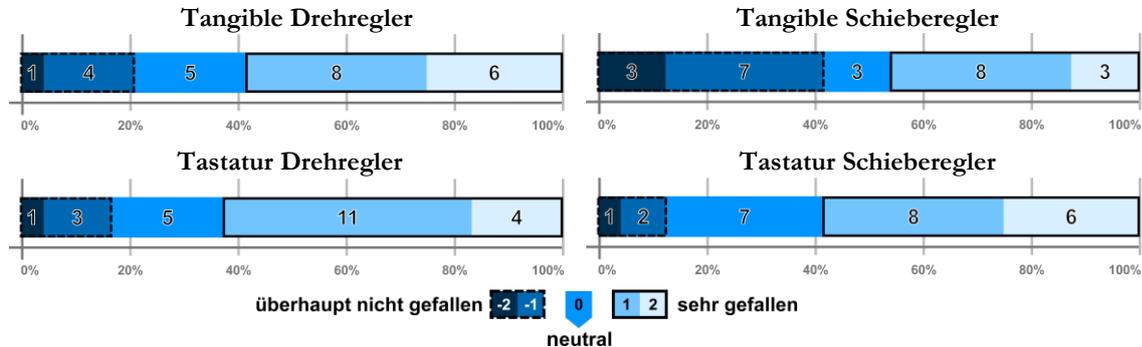


Abbildung 141 Bewertung der Tangible- und Tastaturmodalität in Bezug auf die Elemente

Bei der subjektiven Priorisierung der Eingabemodalitäten wird je nach Rang gewichtet. Nach dem Rankingverfahren von Friedman wird die Reihenfolge der Elemente bestimmt. Beim Vergleich der mittleren Ränge gibt es keine signifikanten Unterschiede. Für den Drehregler ergeben sich die mittleren Ränge Tastatur (*mittlerer Rang* = 2.25), Tangible (*mittlerer Rang* = 2.33), Maus (*mittlerer Rang* = 2.67) und Touch (*mittlerer Rang* = 2.75). Beim Schieberegler zeigen sich die mittleren Ränge für Tastatur (*mittlerer Rang* = 1.96), Tangible (*mittlerer Rang* = 2.42), Maus (*mittlerer Rang* = 2.67) und Touch (*mittlerer Rang* = 2.96).

Bei der Frage nach der Strategie, wie sich die Probanden die Zahlen eingepägt haben, geben elf der 24 Versuchsteilnehmer an, dass sie sich mit Hilfe von Ereignissen wie Geburtsdaten orientiert haben. Neun Probanden haben durch ständiges Wiederholen die Werte im Gedächtnis abgespeichert. Hierbei geben einige Probanden an, dass das in der Tangiblemodalität einfacher ist. Sechs Proban-

⁴³ Die grafische Aufbereitung der Likert Skalen in Abschnitt 6.1.5 erfolgt mit Plot Likert Scales (<http://www.likertplot.com>, zuletzt aufgerufen am 28.06.2014).

den haben versucht, sich an die Visualisierung zu erinnern. Dabei geben diese sechs Teilnehmer an, dass sie die Drehreglervisualisierung besser unterstützt hat. Die physische Nachvollziehbarkeit wird von den Probanden als sehr positiv bewertet (Zitat: „Das wirkliche Begreifen des Drehreglers machte es einfacher als die virtuelle Eingabe.“ oder „Man spürt richtig den Widerstand.“). Dagegen gibt es bei der Präzision beim Einstellen der Werte die häufigsten Kritikpunkte (Zitat: „Tangible etwas gewöhnungsbedürftig und manchmal nicht ganz fein zum Einstellen [...] Tangible etwas zickig.“). Dieses Phänomen zeigt sich in einer weiteren Aussage eines Probanden: „Touch und Tangible sind sehr sensibel, so dass der Wert leicht um 1 bis 2 Zahlen höher oder tiefer eingestuft wird.“

Kontextbezogener Teil – In diesem Teil der Studie wird der Faktor Eingabeelement (Drehregler und Schieberegler) nicht bei der Überprüfung der Hypothesen einbezogen, da keine Gleichverteilung der Elemente im Prozessbild umgesetzt wird. Somit werden folgende Hypothesen im zweiten Teil der Studie überprüft:

H2: Die Eingabemodalität hat Auswirkung auf die *Einstelldauer*.

H5: Die Eingabemodalität hat Auswirkung auf die *Einprägsamkeit*.

H7: Die Eingabemodalität Tastatur unterscheidet sich bezüglich der *Einstelldauer* von der Modalität Tangible.

H8: Die Eingabemodalität Tastatur unterscheidet sich bezüglich der *Einprägsamkeit* von der Modalität Tangible.

In Bezug auf die *Einstelldauer* werden die Hypothesen H2 und H7 mit den zusammengefassten Zeitintervallen für jeweils eine Eingabemodalität überprüft. Somit ergeben sich sechs Zeitintervalle für die kontextbezogene Manipulation der Prozessvariablen. Die Probanden benötigen im Durchschnitt einen Großteil der Zeit in der Tangiblemodalität ($M = 58.80$ s, $SD = 10.73$ s). Demgegenüber wird die wenigste Zeit in der Tastaturmodalität ($M = 34.55$ s, $SD = 9.70$ s) gebraucht. Tabelle 17 zeigt die Verteilung der *Einstelldauer* über alle Eingabemodalitäten hinweg.

Tabelle 17 **Einstelldauer für den kontextbezogenen Teil**

Modalität	N	Min (s)	Max (s)	M (s)	SD (s)
Tastatur	24	22.72	62.83	34.55	9.70
Maus	24	20.54	52.00	37.86	7.23
Touch	24	25.22	75.85	43.66	12.34
Tangible	24	38.49	74.31	58.80	10.73

In Bezug auf die *Einstelldauer* wird mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test eine Überprüfung der Normalverteilung positiv getestet. Wie schon im kontextneutralen Teil wird für die Analyse des Effekts Eingabemodalität eine einfaktorielle ANOVA mit Messwiederholung ausgeführt.

Basierend darauf, kann H2 (Die Eingabemodalität hat Auswirkung auf die *Einstelldauer*.) bestätigt werden, da die Analyse einen signifikanten Effekt der Eingabemodalität bezüglich der *Einstelldauer* ($F(3,69) = 36.12, p = .000$) ergibt.

Hypothese H7 wird anhand eines paarweisen Vergleichs durch eine Bonferroni-Anpassung überprüft. Eine signifikant kürzere *Einstelldauer* zeigt der Vergleich zwischen der Tastaturmodalität ($M = 34.55$ s, $SD = 9.70$ s) und der Tangibleingabe ($M = 58.80$ s, $SD = 10.73$ s, $p = .000$). Diese Analyse bestätigt somit H7 (Die Eingabemodalität Tastatur unterscheidet sich bezüglich der *Einstelldauer* von der Modalität Tangible.). Darüber hinaus ergibt der paarweise Vergleich, dass in der Tastaturmodalität ($M = 34.55$ s, $SD = 9.70$ s) eine signifikant kürzere *Einstelldauer* als in der Touchmodalität ($M = 43.66$ s, $SD = 12.34$ s, $p = .042$) nötig ist. Die jeweiligen Eingaben in der

Maus- ($M = 37.86$ s, $SD = 7.23$ s) und Touchmodalität ($M = 43.66$ s, $SD = 12.34$ s) geschehen signifikant schneller als die in der Tangiblemodalität ($M = 58.80$ s, $SD = 10.73$ s, $p = .000$).

Im Kontext der Messung der *Einprägsamkeit* für jede Modalität müssen im Rahmen eines Szenarios jeweils drei Eingaben für den Drehregler und den Schieberegler ausgeführt werden. In Tabelle 18 sind die durchschnittlichen Recallwerte der insgesamt 24 Szenarien für beide Eingabeelemente dargestellt.

Tabelle 18 Einprägsamkeit für den kontextbezogenen Teil

Modalität	N	Min (n)	Max (n)	M (n)	SD (n)
Tastatur	24	0	5	3.15	1.48
Maus	24	0	5	2.94	1.60
Touch	24	0	5	3.10	1.74
Tangible	24	0	5	3.69	1.37

Die *Einprägsamkeit* wird in Bezug auf $H5$ und $H8$ überprüft. Im Durchschnitt erinnern sich die Versuchsteilnehmer in der Tangiblemodalität ($M = 3.69$, $SD = 1.37$) im Gegensatz zur Mausmodalität ($M = 2.94$, $SD = 1.60$) an die meisten richtigen Werteeingaben.

Anhand des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung werden zunächst die Hypothesen überprüft. Die Überprüfung ergibt, dass die Daten nicht normal verteilt sind. Aus diesem Grund wird zusätzlich der Friedman-Test zur Rangvarianzanalyse verwendet. Die Analyse der Daten zeigt eine signifikante Wirkung der Modalität auf die *Einprägsamkeit* ($\chi^2_{(3, N = 24)} = 9.23$, $p = .026$), d. h., $H5$ (Die Eingabemodalität hat Auswirkung auf die *Einprägsamkeit*.) wird somit bestätigt. $H8$ (Die Eingabemodalität Tastatur unterscheidet sich bezüglich der *Einprägsamkeit* von der Modalität Tangible.) wird mittels Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test ebenfalls bestätigt, da sich die Recallwerte des Tangible signifikant von den Werten der Tastatur ($Z = -2.33$, $p = .019$) unterscheiden. Eine signifikante Abweichung weisen auch die Modalitäten Tangible und Maus ($Z = -2.81$, $p = .005$) sowohl von Tangible als auch Touch ($Z = -1.97$, $p = .048$) auf.

Die Auswertung des *NASA-TLX* erfolgt mit den an Bonferroni angepassten paarweisen Vergleichen. Die deskriptive Statistik des *NASA-TLX*-Fragebogens in Hinblick auf den *Overall Workload Score* über alle Stellenteiltypen zeigt (siehe Abbildung 142), dass die Tangiblemodalität den höchsten Score verzeichnet ($M = 46.00$, $SD = 14.38$; Skala von 0 *keine* bis 100 *maximale Beanspruchung*).

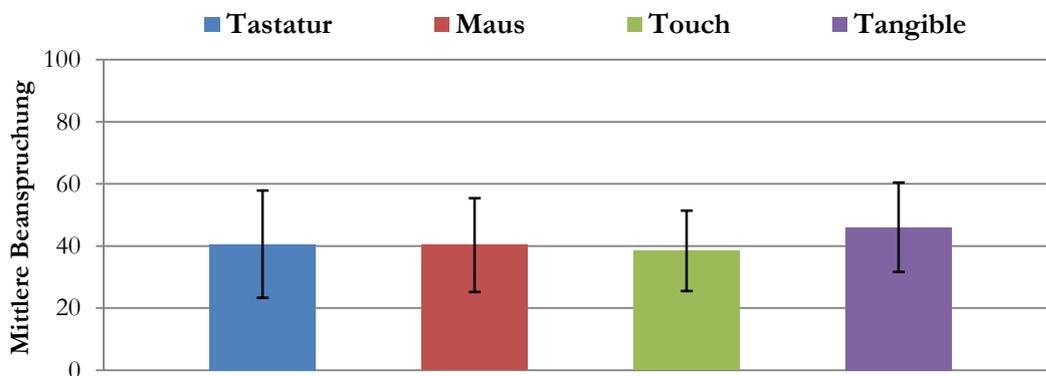


Abbildung 142 Auswertung des Overall Workload Score

Im Gegensatz dazu ergibt die Auswertung den geringsten Score bei der Touchmodalität ($M = 38.40$, $SD = 12.94$). Die traditionellen Eingabegeräte wie Tastatur ($M = 40.59$, $SD = 17.31$) und Maus ($M = 40.31$, $SD = 15.10$) werden sehr ähnlich bewertet. Die etwas höhere Beanspru-

chung in der Tangible- gegenüber der Touchmodalität zeigt in der Varianzanalyse keinen signifikanten Unterschied.

Bei der subjektiven Präferenz der Eingabemodalitäten geben die Probanden, je nach Rang gewichtet, ihre bevorzugte Modalität an. Wie im kontextneutralen Teil der Studien werden die Reihenfolgen durch das Rankingverfahren nach Friedman analysiert. Für den Drehregler ergeben sich die mittleren Ränge: Maus (*mittlerer Rang* = 2.21), Touch (*mittlerer Rang* = 2.25), Tangible (*mittlerer Rang* = 2.33) und Tastatur (*mittlerer Rang* = 3.21). Hierbei zeigen sich signifikante Unterschiede innerhalb der mittleren Ränge ($X^2_{(3, N=24)} = 9.75, p = .021$). Die Ergebnisse liefern Unterschiede zwischen Maus sowie Tastatur ($Z = -2.49, p = .013$), Touch sowie Tastatur ($Z = -2.11, p = .035$) und Tangible sowie Tastatur ($Z = -2.3, p = .021$). Hingegen ergeben sich beim Schieberegler keine signifikanten Unterschiede in den mittleren Rängen: Tangible (*mittlerer Rang* = 2.08), Touch (*mittlerer Rang* = 2.42), Maus (*mittlerer Rang* = 2.42) und Tastatur (*mittlerer Rang* = 3.08).

Bei der Frage nach der Einprägetechnik geben 21 der 24 Versuchsteilnehmer an, dass ihnen primär das simulierte domänenspezifische Szenario sowohl beim Erlernen als auch beim Abrufen der Werte geholfen hat. Sieben Teilnehmer erwähnen sogar ohne aktive Nachfrage, dass die Tangibles einen näheren Prozessbezug durch ihre Form der Eingabe ermöglichen (Zitat: „*Sehr realistische Eingabe.*“). Ein weiterer Proband gibt an, ein „*intuitives Verständnis des Kontexts*“ zu erhalten. Im Umgang mit den Tangibles, die als *intuitive* ($N = 7$) oder *natürliche* ($N = 5$) Eingabemodalität angesehen werden, zeigt die Rückmeldung der Teilnehmer auch, dass der Wechsel zwischen physischem Objekt und Toucheingabe negativ empfunden wird (Zitat: „*Der Wechsel des Tangibles war ablenkend.*“). Dieses Phänomen wird auch von neun Teilnehmern beim Wechsel zwischen Maus und Tastatur in der Eingabemodalität Tastatur kritisch angemerkt (Zitat: „*Der Wechsel zu Maus und Tastatur war unangenehm.*“). Zusätzlich geben vier Teilnehmer bei der Tangiblebedingung an, dass die Eingabe nur sehr unpräzise ausgeführt werden kann (Zitat: „*In einer Leitwarte sicher sehr nützlich und praktisch, wenn die Eingabe genauer wird.*“).

6.1.6 Diskussion und Fazit

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der experimentellen Benutzerstudie, gegliedert in kontextneutralen und kontextbezogenen Teil, diskutiert und abschließend mögliche Implikationen abgeleitet.

Kontextneutraler Teil – Wie bei der Definition der Hypothesen vermutet, hängt die *Einstelldauer* entscheidend von der Eingabemodalität ab. Die größten Zeitunterschiede gibt es jeweils für beide Eingabeelemente in der Tastatur- und Tangiblemodalität. Darüber hinaus schneidet die Tastatureingabe auch besser als die Maus- und Touchmodalität ab, weil sie schneller ist. Durch die physischen Qualitäten des Tangible und die damit verbundenen Charakteristika muss beispielsweise bei großen Differenzen zwischen dem Ist- und Sollwert immer der komplette Wertebereich zurückgelegt werden. Im Extremfall heißt das beim Drehreglerelement, dass eine Manipulation der Werte von 99 auf 1 eine 360°-Umdrehung vom Operator erfordert. Im Gegensatz dazu bietet beispielsweise die Touchmodalität mit ihrer digitalen Funktionserweiterung mittels *Blend* enorme Vorteile, da zum einen Werte direkt angesprungen werden und zum anderen Abkürzungen wie beim Drehregler genommen werden können.

Nicht zu vermuten gewesen ist, dass in der Touchmodalität die Eingabe der Werte mittels Schieberegler signifikant mehr Zeit benötigt als mit dem Drehregler. Die Beobachtungen zeigen jedoch, dass die Kreisform in Verbindung mit der längeren Strecke und die damit einhergehende größere Skalierung zwar längere Interaktionswege erfordert, aber die Interaktion dadurch präziser ausgeführt werden kann.

Die Vermutung, dass die *Einprägsamkeit* von der Eingabemodalität abhängt, wird ebenso bestätigt. Hier sind allerdings im Vorfeld größere Unterschiede zwischen den Eingabemodalitäten Tastatur und Tangible angenommen worden. Die Vermutung liegt nahe, dass durch die schnellere Werteeingabe auch der Recalltest schneller zurückgemeldet werden kann, was sich durch den geringeren zeitlichen Abstand positiv auf die Rückmeldung der Werte ausgewirkt haben könnte. Das unterstützt auch die Angabe der Probanden zur Einprägsamkeitsstrategie, die sich die Zahlen durch ständiges Wiederholen in ihrem Gedächtnis abzuspeichern versuchen. Ergänzend hierzu müssen sich die Versuchsteilnehmer am wenigsten in der Tastaturbedingung auf die Eingabe der Werte konzentrieren, das lässt sich auf Basis der Auswertung der Subskala *geistige Anforderung* des NASA-TLX bestätigen.

Unter dem Gesichtspunkt der *Reality-based Interaction* lassen sich einige der beobachteten Effekte und Wirkungszusammenhänge plausibel erklären. Die durch den NASA-TLX ermittelten höheren Workloadwerte der *körperlichen Anstrengung* in der Touch- und Tangiblemodalität im Gegensatz zur Tastatur- und Mausmodalität verdeutlichen die ursprünglichen Erwartungen an die Bedienkonzepte. Denn diese werden unter der Berücksichtigung der *Body Awareness & Skills* sowie der Prinzipien der *Naïve Physics* in Anlehnung an Jacob et al. (2008) gestaltet.

Hier zeigen sich beim Schieberegler- gegenüber dem Drehreglerelement stärkere signifikante Zusammenhänge zwischen den traditionellen Eingabegeräten (Maus und Tastatur) und den realitätsbasierten Konzepten wie Touch und Tangible. Zusätzlich wird das Ergebnis gestützt durch die Dimension *Anstrengung*, denn im Mittel liegt der höchste Beanspruchungswert bei beiden Elementen in der Tangiblemodalität.

Nach der *Reality-based Interaction* sind die Interaktionsqualitäten der realitätsbasierten Eingabekonzepte hoch. Dies wirkt sich aber negativ auf die Bedieneffizienz aus. Als Indikator wird hierbei die *Stellzeit* betrachtet. Ein kritisches Merkmal stellt neben der *Stellzeit* auch die *Einprägsamkeit* der eingestellten Werte dar. Die Studienergebnisse verdeutlichen, dass die für den Stellvorgang benötigte Zeit, mit den Ergebnissen vom Recalltest, d. h. der *Einprägsamkeit*, leicht korreliert. Das könnte daran liegen, dass eine sehr schnelle Eingabeform wie die Tastatur dazu führt, dass die Zahlenwerte nicht aufgenommen werden. Dagegen beeinflusst eine längere *Einstelldauer* das Einprägen der Zahlen positiv. Der Unterschied in den Recalltestergebnissen lässt sich nicht allein mit der sehr schwachen Korrelation aufzeigen. So sind beispielsweise die Eingabezeiten mit der Tastatur deutlich geringer als bei den übrigen Eingabebedingungen, die Recallwerte trotzdem auf dem Niveau der Mausmodalität. Beim Drehregler wird im Gegensatz dazu mit dem Tangible ein besserer Recallwert erreicht als beispielsweise in der Touchmodalität, und das, obwohl sich die *Stellzeiten* nur wenig unterscheiden. Es deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die *Einprägsamkeit* durch das Einsetzen von Tangibles verbessert werden kann. Die Wahrnehmung des Stellvorgangs kann in Form der Motorik und des Kraftaufwands von Muskeln oder Gelenken unterstützt werden. Jedoch sollte nach Meinung der Probanden ein exaktes Einstellen der Werte mit den Tangibles verbessert werden. Aufgrund des Trackings der Rotationen bedeutet das eine enorme Herausforderung an die Umsetzung. Auch die Rangreihenfolge, die keinen signifikanten Unterschied der präferierten Eingabemodalitäten aufweist, zeigt kein klares Muster der bevorzugten Modalitäten. Es können aufgrund der teilweise heterogenen Aussagen nur Tendenzen aufgezeigt werden.

Dennoch sollte bei der Bewertung berücksichtigt werden, dass die Probanden wenig bis gar keine Erfahrung mit realitätsbasierten physischen Eingabemodalitäten haben. Somit sollten im Rahmen einer längeren Trainingsphase und im Rahmen einer Langzeitevaluation die Ergebnisse erneut beleuchtet werden.

Kontextbezogener Teil – Der kontextbezogene Teil, in dem der Faktor Eingabeelement nicht berücksichtigt wird, zeigt ebenfalls Effekte in Bezug auf die *Einstelldauer* und *Einprägsamkeit*. Eine signifi-

kant kürzere *Einstelldauer* zeigt sich bei der Tastaturmodalität gegenüber der Tangible- und Touchmodalität. Zwischen den herkömmlichen Eingabegeräten wie Maus und Tastatur kann keine signifikante Abweichung festgestellt werden. Hierbei kann sich der Wechsel bezüglich der Eingabegeräte im Arbeitskontext der Manipulation auf die Ergebnisse negativ auswirken. Die Versuchsteilnehmer müssen beispielsweise in der Tangiblebedingung beim Navigieren hin zur Werteingabe in die Touchmodalität wechseln. Es bestätigt sich die Vermutung, dass sich die manuellen Eingriffe durch Tangibles besser als in der Tastaturmodalität einprägen lassen. Das begründen auch die Ergebnisse, weil im Durchschnitt die korrekt wiedergegebenen Werte bei der Tangiblemodalität signifikant höher als in der Tastatur-, der Touch- und der Mausmodalität sind. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass das Zeitintervall von der ersten Eingabe bis zum Recalltest in der kontextbezogenen Studie im Gegensatz zur kontextneutralen Studie entsprechend länger ist.

Im Rahmen der Recallaufgaben, bei denen die richtige Reihenfolge keine Rolle gespielt hat, sondern die Verortung im Prozessbild, haben die Teilnehmer bei der örtlichen bzw. semantischen Zuordnung Vorteile durch die realitätsbasierten Konzepte. Das geben die Teilnehmer auch in der Abschlussdiskussion an, dass speziell die Tangibles als eine Art Gedächtnisstütze fungieren. Auch der erhobene Workload mit dem *NASA-TLX* zeigt im kontextbezogenen Teil keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Modalitäten. Jedoch werden die realitätsbasierten Konzepte mit dem höchsten mittleren Workload in der Tangible- und mit dem niedrigsten Workload in der Touchmodalität unterschiedlich bewertet, wobei die *mittlere Beanspruchung* beim Höchstwert in der Tangiblemodalität immer noch deutlich unter der Hälfte der *maximalen Beanspruchung* von 100 liegt. In der subjektiven Bewertung der Teilnehmer beim Schieberegler schneiden die Eingaben mit Tangible sowie Touch und Maus besser ab als die Tastatureingabe. Auch beim Drehregler wird die Eingabe mit Maus, Touch und Tangible gegenüber der Tastatur bevorzugt.

Dennoch gilt zu beachten, dass durch die *Wizard-of-Oz*-Methode⁴⁴ eine ständige Präsenz durch den Versuchsleiter notwendig ist. Das birgt unkontrollierbare Effekte durch das ständige manuelle Eingreifen in die Studie. Abhilfe könnten die *Tangibles Bots* (Pedersen & Hornbæk, 2011) schaffen, die sich autonom auf der Oberfläche bewegen können. Somit würde ein ständiges Umpositionieren der Tangibles durch den Operator nicht mehr erforderlich sein. Zusätzlich könnte sich eine Kombination mit ortskonstanten Tangibles am Displayrand und der Touch-Interaktion sinnvoll ergänzen. Das würde eine hybride Bedienung mit beiden Händen unterstützen. So könnte immer eine Hand am Tangible bleiben, während mit der anderen Hand im Prozessbild navigiert wird.

Auf der Grundlage der Studie mit Studenten muss eine weitere Evaluation mit Operatoren aus dem Kraftwerkskontext erstellt werden, um die Validität der Ergebnisse sicherzustellen, da die Untersuchung nicht mit realen Nutzern durchgeführt worden ist. Darüber hinaus wird im kontextbezogenen Teil der experimentellen Studie der Faktor Eingabeelement nicht dezidiert betrachtet, so können keine Aussagen in Bezug auf Interaktionseffekte wie im kontextneutralen Teil abgeleitet werden. Durch die geringe Anzahl der abgefragten Werte innerhalb der Recallaufgaben wird eher das Kurzzeitgedächtnis der Probanden beansprucht. Das zeigt sich auch in den Lernstrategien der Probanden, z. B. im ständigen Wiederholen der einzustellenden Werte. Abhilfe schaffen hierbei spezielle Ablenkungsaufgaben, die vor den Recallaufgaben gestellt werden. So kann beispielsweise durch die Bearbeitung von Rechenaufgaben der Effekt der Lernstrategien kompensiert werden. Somit besteht weiterer Forschungsbedarf für längere Rekonstruktionsaufgaben von Werteingaben, die im Langzeitgedächtnis des Operators abgespeichert werden müssen. So müssen kontextspezifische Szenarien für die Rekonstruktionsaufgaben entwickelt und empirisch untersucht werden, die das Langzeitgedächtnis des Operators stimulieren, um Aussagen in Bezug auf die Aufrechterhaltung des Situationsbewusstseins treffen zu können.

⁴⁴ Im Rahmen der Methode simuliert der Mensch die zu erwartenden Reaktionen des Systems.

6.2 Design Case IV: Dokumentation

Die Ergebnisse der Nutzungskontextanalyse zeigen zum einen, dass bei der täglichen Arbeit in Leitwarten heute noch eine Vielzahl an Artefakten wie Schichtbücher handschriftlich erstellt werden, und zum anderen, dass in manchen Situationen entsprechende Sachverhalte digital, z. B. in Form einer E-Mail, erfasst und verteilt werden müssen. Grund für papierbasierte Dokumente sind neben der Einfachheit bei der Erstellung von handschriftlichen Texten auch rechtliche Vorgaben. Darüber hinaus ist die analoge Schriftführung beim schnellen Arbeitsplatzwechsel oder während der Kontrollgänge in der Anlage wesentlich praktikabler, da Störeinflüsse wie Erschütterungen oder Verschmutzungen keinerlei Probleme bereiten. Dem stehen die zahlreichen Vorteile der digitalen Informationsverarbeitung gegenüber. So kann mittels einer Suchfunktion effizient in Dokumenten recherchiert werden. Des Weiteren können Notizen kontextspezifisch zum überwachenden Prozess hinterlegt werden. Die hinterlegten Einträge stehen dabei mehreren Operatoren gleichzeitig zur Verfügung und können von einem beliebigen Ort abgerufen werden. Somit haben sowohl die analogen als auch die digitalen Artefakte zu Dokumentationszwecken ihre entsprechenden Vorteile. In diesem Abschnitt werden daher realitätsbasierte Konzepte vorgestellt, die die jeweiligen Vorteile der analogen und der digitalen Dokumentation vereinen (siehe Abbildung 143).

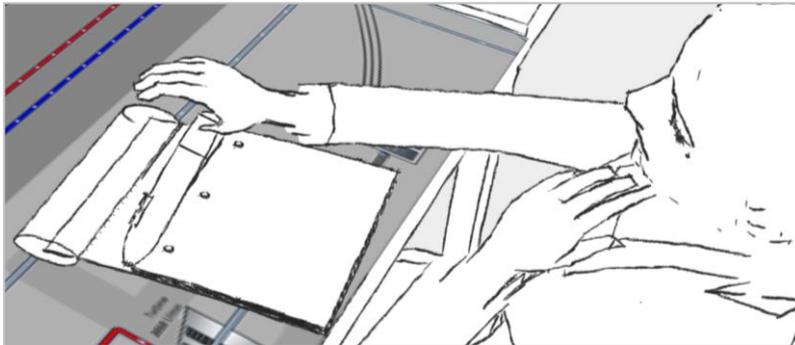


Abbildung 143 Konzept für die Dokumentation im Private Space

Space:	Private
Primärtätigkeit:	Manuelle Dokumentation
Domäne:	Energiegewinnung
Aufbau:	Digital-Pen & Paper, Interactive Tabletop
Arbeitsebene:	Horizontal

Die Konzepte werden anhand eines exemplarischen Szenarios im Kontext der Energiegewinnung umgesetzt und durch Experteninterviews evaluiert.

Teile dieses Abschnitts sind bereits veröffentlicht worden in:

Schwarz, Tobias; Heilig, Mathias; Butscher, Simon; Müller, Jens; Reiterer, Harald: Die Gestaltung der Arbeitsumgebung von Operatoren (k-) ein Platz für Innovationen? In AUTOMATION 2011 (VDI-Berichte 2143), Baden-Baden (Deutschland), VDI Verlag, Juni 2011.

Schwarz, Tobias; Kehr, Flavius; Oortmann, Holger; Reiterer, Harald: Die Leitwarte von heute verstehen – die Leitwarte von morgen gestalten! In Mensch & Computer 2010: Interaktive Kulturen, Duisburg (Deutschland), Oldenbourg Verlag, S. 93-102, September 2010.

Schwarz, Tobias; Oortmann, Holger; Reiterer, Harald: Holistic Workspace – The next generation control room. In AUTOMATION 2010 – Leading through Automation (VDI-Berichte 2092), Baden-Baden (Deutschland), VDI Verlag, Juni 2010.

Bei der Bearbeitung des *Design Case* ist der Autor von zwei studentischen Mitarbeitern der Universität Konstanz unterstützt worden. Der Autor ist für den ganzheitlichen Forschungskontext verant-

wortlich, und zwar Anforderungen, Interaktions- und Visualisierungskonzept sowie Führung der Experteninterviews. Simon Butscher und Jens Müller haben bei der Implementierung der Interaktions- und Visualisierungskonzepte mitgewirkt.

6.2.1 Motivation

Die vorhandenen Medienbrüche durch die analogen und digitalen Artefakte im Leitwartenkontext ziehen zahlreiche Probleme für die persönliche und soziale Interaktion und Kommunikation nach sich. Neben einfachen Notizen, die sich die Operatoren während der Überwachungs-, Diagnose- und Manipulationstätigkeiten erstellen, werden immer noch ganze Schichtbücher analog geführt. So liegen analoge Artefakte zunächst als einzelne Exemplare vor und können somit zu einem Zeitpunkt auch von lediglich einem Operator genutzt werden. Für die zeitnahe Verfügbarkeit müssen sie in einem zusätzlichen Arbeitsgang digitalisiert werden. Bei der Digitalisierung der Aufzeichnungen können beispielsweise bei der manuellen Übertragung durch den Operator in das digitale Dokumentationssystem entsprechend Fehler entstehen. Die handschriftliche Aufzeichnung mit Stift und Papier ist dennoch eine schnelle, effiziente, intuitive und ortsunabhängige Dokumentationsform. Somit besteht die große Herausforderung darin, die Medienbrüche zu reduzieren.

Ein solcher Bruch tritt ein, wenn „*während der Erhebung, Erfassung, Kommunikation und Verarbeitung von Daten ein Wechsel des Mediums stattfindet.*“ (Pietsch & Boldt, 2014, S. 10)

Die vom Operator manuell erhobenen Artefakte stehen lediglich in physischer Form zur Verfügung und müssen den Prozess der digitalen Weiterverarbeitung durchlaufen. Diese funktioniert am effektivsten, wenn die Daten sofort in dem für die Weiterverarbeitung notwendigen digitalen Datenformat aufbereitet werden. Die Medienbrüche erhöhen zum einen die Kosten der Prozesse durch zeitliche Verlängerung, und zum anderen wird die Datenqualität reduziert (Pietsch & Boldt, 2014).

Eine ähnliche Problemstellung findet sich in der Sicherung der erstellten Daten. Analoge Notizen können leicht verloren gehen, was in Leitwarten gravierende Auswirkungen haben kann. Eine zusätzliche Problematik ist die Zuordnung von analogen Notizen oder Schichtbucheinträgen zu einzelnen Elementen (z. B. Prozessvariablen) im technischen Prozess. So besteht beispielsweise keine direkte Verbindung zwischen einem Schichtbucheintrag und der beteiligten Prozessvariablen, der Operator muss selbständig den aufwendigen Kontextbezug herstellen. Das ist umso schwieriger, wenn ein Operator in der vorherigen Schicht die Aufzeichnung der Daten übernommen hat. Das birgt beispielsweise die Gefahr einer zeitaufwendigen Recherche bzw. Suche. Darüber hinaus können Schichtbucheinträge gänzlich übersehen werden. Die Suche von analogen Notizen ist im Gegensatz zur digitalen Suche wesentlich zeitaufwendiger. Dennoch wird in Bezug auf die soziale Interaktion zwischen den Operatoren auch häufig die indirekte Kommunikation durch physische Artefakte aus der realen Welt (z. B. Schichtbücher, Checklisten und Notizen) genutzt. So wird beispielsweise im Rahmen der Schichtübergabe das Schichtbuch zwischen den Operatoren übergeben. Diese Form der impliziten Kommunikation ist hauptsächlich für die primären Aktivitäten wie die Koordination und Kommunikation von großer Bedeutung. Diese bewusste Interaktionsform durch Übergabe der Dokumente wird in der digitalen Welt nur unzureichend berücksichtigt. Auch die *physische Affordance* der wahrnehmbaren Eigenschaften von Notizen und Schichtbüchern auf dem Schreibtisch unterstützt bei der Informationsvermittlung, z. B. wird der Operator durch die Präsenz der Objekte daran erinnert, Einträge zu vervollständigen.

Die Nutzungskontextanalyse zeigt (siehe Abschnitt 3.2.3), dass die Datenerfassungsszenarien in alltäglichen Prozesssituationen sowohl im Umfang als auch in der Komplexität eingeschränkt sind. Insofern erscheint der Einsatz der Digital-Pen & Paper-Technologie an dieser Stelle vielversprechend, da sie sich besonders gut für kurze Eingaben von beispielsweise numerischen Werten, kurzen Wortfolgen oder Markierungen eignet (Pietsch & Boldt, 2014). Darüber hinaus werden unter-

schiedliche Aufzeichnungen wie die Einträge ins Schichtbuch zu verschiedenen Zeiten im selben Dokument ergänzt. Neben der Flexibilität bei der strukturierten Datenerfassung erlaubt die analoge Form der Notation eine spontane und unkomplizierte Erstellung von Skizzen.

Der Fokus bei der Gestaltung der Konzepte in *Design Case IV* liegt sowohl auf der persönlichen und sozialen Interaktion als auch auf der nahtlosen Integration in die Workflows der Arbeitsumgebung von Operatoren (siehe Tabelle 19). Neben der Unterstützung bei der Erstellung der Dokumentation sollen vor allem die nonverbale Kommunikation und die Koordination gefördert werden.

Tabelle 19 Unterstützung der Gestaltungsebenen in Design Case IV

		 Hauptfokus	 Fokus	 Berücksichtigt
	Persönliche Interaktion			Workflow
	Soziale Interaktion			Physische Arbeitsumgebung

Die Digital-Pen & Paper-Technologie schließt durch eine sehr einfache und intuitive Bedienweise die Lücke zwischen der analogen und digitalen Welt. Somit ist die Technologie für die Dokumentationstätigkeiten in Leitwarten geeignet. Aus diesem Grund soll in diesem Abschnitt der Frage nachgegangen werden:

(F1) Wie lassen sich die Vorteile der analogen Stifteingabe mit den Vorteilen der digitalen Informationsverarbeitung im Sinne der aufgabenspezifischen Anforderungen in Leitwarten vereinen?

Die im Folgenden beschriebenen Interaktions- und Visualisierungskonzepte nutzen die Möglichkeiten der Digital-Pen & Paper-Technologie, um eine neuartige Erfassung von Schichtbüchern und Kontrollgangprotokollen zu schaffen und somit die individuellen Rahmenbedingungen in Leitwarten angemessen und sinnvoll zu unterstützen. Dabei werden die Liegezeiten zwischen der Dokumentationstätigkeit und deren Digitalisierung drastisch reduziert.

6.2.2 Grundlagen – Verbindung von physischen und digitalen Dokumenten

Im Anschluss an die Anforderungen werden die theoretischen Hintergründe, die für die Unterstützung der Dokumentation von Bedeutung sind, vorgestellt. Durch den Einsatz der Digital-Pen & Paper-Technologie können sowohl die Kluft zwischen physischen und digitalen Dokumenten überbrückt als auch die sinnlich-körperliche Wahrnehmung bei Dokumentationstätigkeiten gestärkt werden.

Digital-Pen & Paper-Technologie

Die Technologie ermöglicht es, analog Geschriebenes in Echtzeit mit Hilfe von Sensoren zu digitalisieren. Die Daten, die automatisch interpretiert werden, können im Anschluss weiterverarbeitet werden. Auf diese Weise lässt sich das Verfassen von Notizen auf realem Papier mit den Vorzügen der digitalen Weiterverarbeitung kombinieren. Zu dieser Technologie existieren diverse Ansätze, wobei die bekannteste von der Anoto-Group⁴⁵ stammt (siehe Abbildung 144a). Bei der Umsetzung wird auf normales Papier ein kaum sichtbares, kontinuierliches Punktemuster gedruckt, das vom Stift gelesen werden kann. Die Punkte haben einen Durchmesser von 100 µm und stehen in einem Abstand von 0.3 mm zueinander. Die Mine des Stifts ist mit einem Drucksensor ausgestattet, der die Elektronik aktiviert, sobald der Nutzer den Stift ansetzt. Eine integrierte kleine Infrarotkamera

⁴⁵ <http://www.anoto.com>, zuletzt aufgerufen am 12.06.2014.

erfasst das Punktemuster während des Schreibvorgangs, und ein Bildprozessor berechnet die absolute Position der Mine auf dem Muster. Insgesamt lassen sich mit Hilfe des Punktemusters bis zu 960 Millionen Seiten im DIN-A4-Format nutzen (Pietsch & Boldt, 2014). Die Daten werden entweder im Stift gespeichert oder per Bluetooth in Echtzeit an den Rechner übertragen. Auf diese Art und Weise stehen zwei inhaltlich identische, aber physisch unterschiedliche Artefakte in Form eines digitalen und eines analogen Dokuments zur Verfügung (Pietsch & Boldt, 2014). Somit entfällt der herkömmliche Schritt der Digitalisierung von handschriftlich angefertigten Dokumenten. Die digitalisierten Daten, die zunächst als Bilddaten vorliegen (siehe Abbildung 144b), können mit einer speziellen *Optical Character Recognition* (OCR)-Software (Strings) in Echtzeit als Zeichenfolge gespeichert werden. Somit entsteht kein zusätzlicher zeitlicher Aufwand bei der Umwandlung von Bilddaten in ASCII-Zeichen.

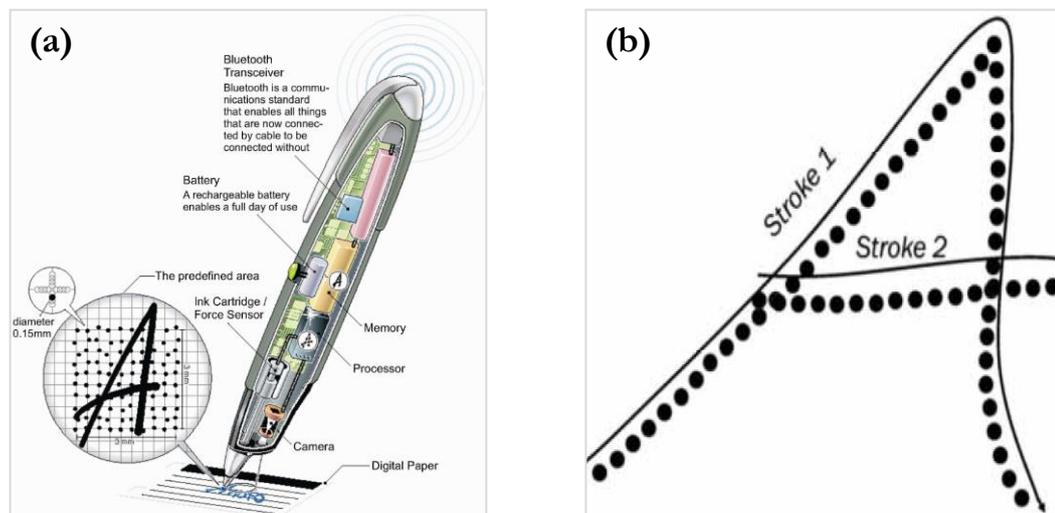


Abbildung 144 Digital-Pen & Paper-Technologie

(a) Die schematische Darstellung zeigt die technischen Details des Digitalstifts der Firma Anoto.⁴⁶ (b) Mit Hilfe des dichten Punktemusters werden von der Kamera im Stift zwei Strokes erkannt, die den Buchstaben „A“ repräsentieren (Pietsch & Boldt, 2014).

Boldt und Raasch (2008) evaluieren unterschiedliche Technologien zur digitalen mobilen Erfassung von Textinformationen. Dabei müssen die Probanden während der Studie Zahlen, Ankreuzfelder und kurze Sätze mit den jeweiligen Geräten eingeben. Die Ergebnisse zeigen auf, dass die Datenerfassung mittels Digital-Pen & Paper Vorteile gegenüber den Erfassungsmethoden einer Tastatureingabe auf einem mobilen Computer, Tablet und Personal Digital Assistant (PDA) hat (Pietsch & Boldt, 2014). In den Kategorien der Erfassungsschnelligkeit, der Fehlerquote und der Benutzerfreundlichkeit erweist sich die handschriftliche Datenerfassung durch Digital-Pen & Paper als schnellste und robusteste Methode gegenüber Fehleingaben. Gerade bei der kooperativen Dokumentation während eines Gesprächs stört diese Technologie den Ablauf am wenigsten. Ein Nachteil gegenüber den Vergleichsgeräten liegt darin, dass der Datenaustausch von Stift zu Rechner via Dockingstation oder Bluetooth nur in eine Richtung erfolgt, was eine direkte Reaktion während der Eingabe von Daten unmöglich macht (Pietsch & Boldt, 2014).

In den letzten Jahren sind diverse Interaktionstechniken für die digitalen Stifte entworfen worden, um die Vorteile des analogen Schreibens mit den Möglichkeiten der digitalen Informationsverarbeitung zu verknüpfen. Diese Forschungsprojekte verwenden alle die Anoto-Technologie. Im Projekt *Paper Point* von Signer und Norrie (2007) sind die ausgedruckten Handouts von der Präsentation

⁴⁶ <http://www.anoto.com>, zuletzt aufgerufen am 27.07.2014.

mit dem Punktemuster versehen und können direkt mit dem Stift annotiert werden. Darüber hinaus lassen sich die Folien in der Präsentation über das Papier weiterschalten. Somit werden zusätzlich neben der Erstellung von Text neue Perspektiven der Technologie genutzt, indem mit dem Stift vom Nutzer Funktionen ausgelöst werden können. Dabei erkennt die integrierte Kamera im Stift das Punktemuster, das beispielsweise die Buttons zur Weiterschaltung codiert. Ein Jahr später stellen Weibel, Ispas, Signer und Norrie (2008) das Projekt *Paper Proof* vor, das das Erstellen, Bearbeiten und Annotieren von Textdokumenten sowohl auf Papier als auch im digitalen Medium unterstützt. Die Grundidee basiert auf der Beobachtung, dass digitale Dokumente zu Korrektur- oder Annotationszwecken häufig ausgedruckt werden. Durch den Medienbruch müssen die Korrekturen mit der Hand im Nachgang in die digitale Version übertragen werden. Die *Paper Proof*-Software übernimmt alle manuellen Korrekturen, die vom Nutzer erstellt werden und integriert diese in die digitale Version. Unterschiedliche Gesten wie das Durchstreichen von Texten oder bestimmte Löschbefehle werden umgesetzt. Darüber hinaus können gleichzeitig mehrere Nutzer entweder auf Papier oder im digitalen Medium arbeiten.

Außerdem wird die Anoto-Technologie in Verbindung mit interaktiven Displays im Projekt *Blended Interaction Design* von Geyer, Pfeil, Höchtl, Budzinski und Reiterer (2011) eingesetzt. Das Projekt beschäftigt sich mit Gruppenarbeit in frühen Phasen von Design-Prozessen der Produktgestaltung. Durch die direkte Digitalisierung von Handschrift oder Zeichnungen, die auf herkömmlichem Papier mit Anoto-Punktemuster angefertigt werden, ist es möglich, die digitalen Kopien ohne physische Einschränkungen auf dem interaktiven Display darzustellen. Dieser Schritt der Digitalisierung erfolgt durch Auflegen der angefertigten Artefakte auf das Display. Nach den Autoren besteht der Vorteil bei der Verwendung der Technologie in diesem Kontext darin, dass durch das physische Papier anschließend eine individuelle Reflexion und Manipulation der papierbasierten Artefakte möglich sind.

Zusammenfassung und Implikation

Die Technologie verbindet die intuitive analoge handschriftliche Datenerfassung mit den Vorteilen der digitalen Informationsverarbeitung. Sie kann in Verbindung mit geeigneten Interaktions- und Visualisierungskonzepten dabei helfen, Dokumentationsprozesse in Leitwarten zu verbessern. *Paper Point* (Signer & Norrie, 2007), *Paper Proof* (Weibel et al., 2008) und *Blended Interaction Design* (Geyer et al., 2011) illustrieren die Potenziale, indem sie die Nutzerfreundlichkeit der handschriftlichen Datenerfassung mit den Vorteilen der digitalen Welt vereinen. So entsteht aufgrund der direkten Digitalisierung der Dokumente beim Schreibvorgang kein Medienbruch. Zusätzliche Prozesse wie das Einscannen der Schriftstücke zur Übertragung der Aufzeichnung entfallen. Durch den Wegfall der nachträglichen Digitalisierung von Daten können Fehler reduziert und Kosten gespart werden (Pietsch & Boldt, 2014). Gerade durch die Digitalisierung der handschriftlichen Daten entfallen die langen Liegezeiten der Dokumente zwischen der Entstehung und Weiterreichung an die verantwortlichen Kollegen. Somit erfüllt die Digital-Pen & Paper-Technologie die Anforderungen der Operatoren, denn sie fordern im Rahmen der Nutzungskontextanalyse (siehe Abschnitt 3.2.3) weiterhin papierbasierte Prozesse innerhalb der unterschiedlichen Dokumentationsartefakte, die während den Überwachungs-, Diagnose- und Manipulationstätigkeiten erstellt werden. Darüber hinaus zeigt die Analyse der angefertigten Arbeitsunterlagen in den untersuchten Leitwarten, dass zwar sehr häufig dokumentiert wird, aber die Umfänge der Texteingaben relativ gering sind, z. B. einzelne Werte, Zeiten, oder Wortgruppen. Diese Eigenschaften eignen sich besonders gut zur elektronischen Handschrifterkennung und deren Umwandlung in maschinenlesbare Daten (Pietsch & Boldt, 2014). Darüber hinaus haben gerade die Arbeitsunterlagen wie Schichtbücher oder Schichtübergabeprotokolle großes Potenzial zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen, da die Erfassung der Ereignisse zu unterschiedlichen Zeiten in denselben Dokumenten erfolgt.

6.2.3 Interaktions- und Visualisierungskonzept

Im Folgenden werden Konzepte beschrieben, die die Vorteile einer handschriftlichen Eingabe mit denen der digitalen Welt verknüpfen. So wird nach den Prinzipien des *Conceptual Blending* ein klassisches Schichtprotokoll in Form eines physischen Buchs mit den Eigenschaften aus der digitalen Informationsverarbeitung kombiniert. Als zweites exemplarisches Konzept wird ein physisches Kontrollgangprotokoll um digitale Funktionen ergänzt. Neben den Vorteilen der persönlichen Interaktion durch die Digitalisierung der Artefakte in Echtzeit wird innerhalb der Konzepte auch die soziale Interaktion und Kommunikation unterstützt. Während der Erfassung können Aufzeichnungen anderen Operatoren zur Verfügung gestellt werden. In der Notation des *Conceptual Blending* wird der *Input Space 1* durch die herkömmlichen Artefakte wie Notiz, Schichtbuch und Kontrollgangprotokoll repräsentiert. Dabei wird der Text in analoger Form mit Stift erstellt. So entspricht das digitale Schichtbuch mit seinen umfassenden Möglichkeiten der digitalen Informationsverarbeitung wie Volltextsuche, Sortieren und Filtern dem *Input Space 2*. Darüber hinaus sind die Daten jederzeit und überall auf einem digitalen Medium verfügbar. Der daraus resultierende *Blend* beschreibt sowohl die realen Merkmale der physischen Artefakte als auch die Erweiterung durch digitale Funktionen. In Anlehnung an das Interaktionsframework nach Steimle (2009) für Digital-Pen & Paper-Benutzungsschnittstellen wird das Erstellen, Annotieren, Verbinden und Tagging innerhalb der Konzepte berücksichtigt. Im Folgenden werden die Konzepte für das Schichtbuch und die Aufzeichnung von Kontrollgängen vorgestellt.

Schichtprotokoll

Im Fließbild einer Prozessübersicht aus der Energiegewinnung werden die Prozessvariablen und Bauteile wie Motoren, Pumpen oder Ventile mit einer eindeutigen ID (Identifikator) versehen. Mit Hilfe der Digital-Pen & Paper-Technologie kann der Operator im Schichtbuch zu allen Prozessvariablen der Anlage direkt im Kontext handschriftlich eine Notiz hinterlegen. Somit kann eine erstellte Notiz bezüglich eines Elements direkt im digitalen Prozessbild verortet werden. Durch die digitale Repräsentation wird den Operatoren ermöglicht, das Schichtbuch gleichzeitig einzusehen oder zu bearbeiten. Abbildung 145a zeigt das Erstellen eines Schichtbucheintrags.

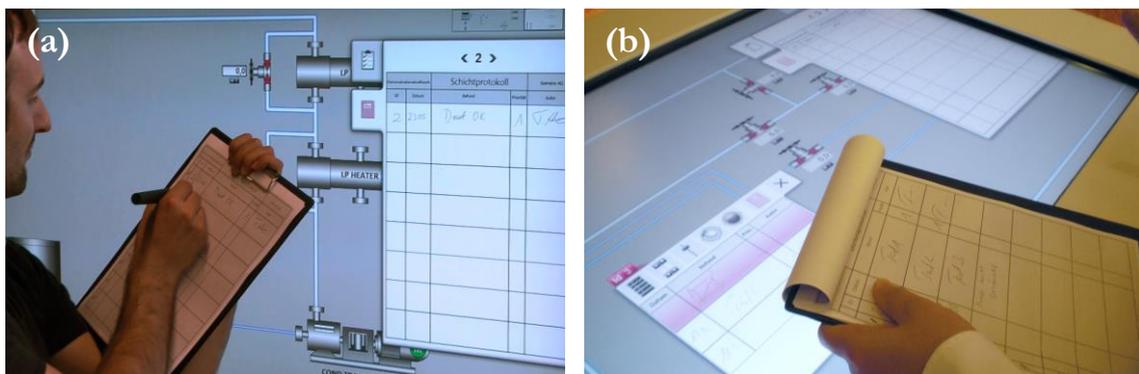


Abbildung 145 Erstellung eines Schichtbucheintrags mit hybrider Visualisierung

(a) Kontextsensitive Informationen zum Prozess können handschriftlich direkt am Element hinterlegt und wieder abgerufen werden. (b) Auf dem interaktiven Display wird das Schichtprotokoll am rechten Rand angezeigt.

Die handschriftlichen Informationen stehen sofort durch die digitale Informationsverarbeitung zum einen in der Übersicht am rechten Rand im Schichtbuch und zum anderen direkt am Element (siehe Abbildung 145b) bereit. Dem Operator wird im Formular des Schichtbuchs eine Spalte zum Eintragen der entsprechenden ID bereitgestellt (siehe Abbildung 146a). Eine Handschrifterkennung ermöglicht die automatische Zuordnung von handschriftlichen Eingaben zu den entsprechenden

Prozessvariablen. Durch die Zusammenführung einzelner Notizen zu konkreten Variablen kann im System gefiltert werden, um nur Notizen, die für ein konkretes Bauteil relevant sind, anzuzeigen. Auf das Papier werden zusätzlich Buttons aufgedruckt und mit einer Funktion versehen. Um das Schichtbuch zu drucken, wird auf dem Papier ein Bereich definiert, der die Druckfunktion auslöst (siehe Abbildung 146b). Darüber hinaus wird auch die Funktion zum Senden einer E-Mail umgesetzt. Werden die unterschiedlichen Bereiche durch den Nutzer mit dem Stift berührt, so wird die jeweilige Funktion ausgelöst.

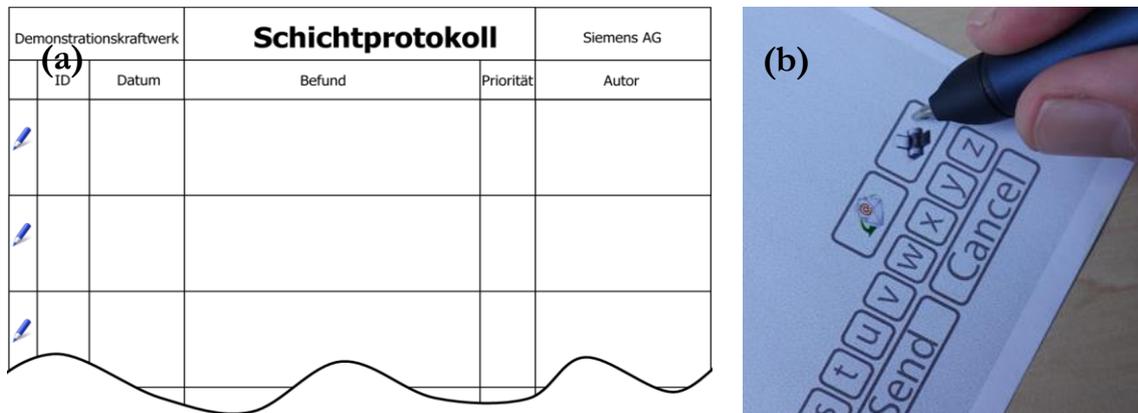


Abbildung 146 Ausschnitt aus dem Schichtbuch mit Funktionsbuttons

(a) Der Aufbau eines Schichtbuchs ist tabellarisch umgesetzt worden. (b) Im Schichtbuch sind zusätzliche Buttons untergebracht, um mit dem Stift Funktionen auszulösen.

Die Gestaltung des Schichtbuchs wird an die Vorgaben von Lafrenz, Nickel und Nachreiner (2010) angelehnt, um so durch einen konsistenten Aufbau die Übersichtlichkeit zu fördern. Zu jedem Element im Fließbild kann neben dem Datum ein Befund spezifiziert und eine Priorität vergeben werden. Um die Schichtbucheinträge personalisieren zu können, wird in der letzten Spalte im Unterschriftsfeld das vom Operator eingetragene Ereignis mit dessen persönlicher Unterzeichnung verifiziert, um die Verantwortlichkeiten nachvollziehen zu können. Des Weiteren ist es möglich, über einen Funktionsbutton, der im Schichtbuch anhand eines Stifticons in der ersten Spalte dargestellt wird, mit der analogen Notiz das digital verknüpfte Element in der Prozessübersicht aufzurufen.

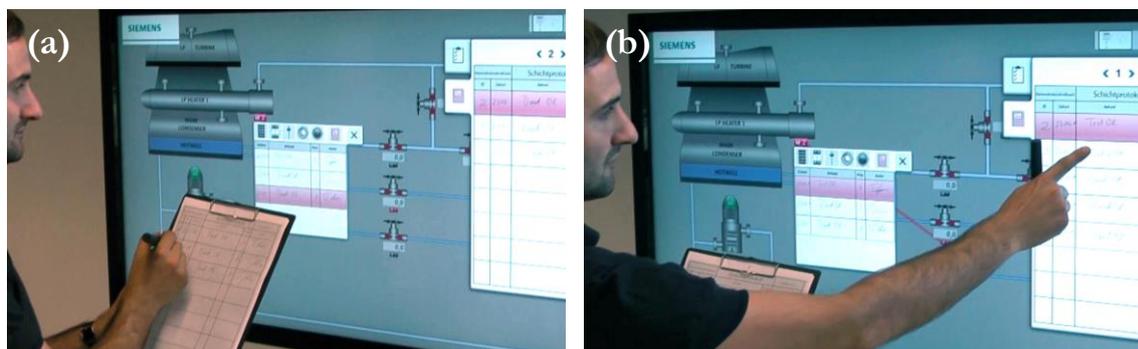


Abbildung 147 Filterung von Schichtbucheinträgen

(a) Die Notizen zu handschriftlich erfassten Einträgen können direkt durch einen Funktionsbutton auf dem Papier aufgerufen werden. (b) Die hybride Bedienung ermöglicht das Anwählen der Einträge auf der Benutzungsschnittstelle.

Durch eine geführte Navigation bekommt der Operator die entsprechende Rückmeldung, an welchem Ort in der Prozessübersicht sich das Element befindet. Dabei ist keine weitere Interaktion

mit der digitalen Benutzungsschnittstelle erforderlich. Somit können analoge Notizen mit jedem digitalen Element der Prozessvisualisierung verknüpft werden. Der Schichtbucheintrag bezieht sich auf eine Notiz und kann analog dem Papier durch die Benutzungsschnittstelle über das interaktive Display aufgerufen werden (siehe Abbildung 147b). Daher kann digital nach Einträgen gesucht oder nach bestimmten Kriterien gefiltert werden. Gleichzeitig können aber mit beiden Varianten (analog und digital) alle Einträge, die einen Bezug zu einem der Elemente haben, in der Prozessübersicht angezeigt werden. Dadurch ist es möglich, die Historie der jeweiligen Einträge einzusehen.

Kontrollgangprotokoll

Beim Verfassen eines Protokolls über einen Kontrollgang, das ebenfalls am rechten Rand in der digitalen Benutzungsschnittstelle angezeigt wird, werden die unterschiedlichen Stärken der Digital-Pen & Paper-Technologie berücksichtigt. Neben den Vorteilen der zuvor beschriebenen Konzepte beim Schichtprotokoll wird in diesem Konzept eine Schrifterkennung umgesetzt. Die Schrifterkennung überträgt den geschriebenen Text in ASCII-Zeichen. Die erstellten handschriftlichen Wörter können auch gelöscht werden, indem sie durchgestrichen werden (vgl. Steimle 2009). So wird auch in der digitalen Repräsentation das jeweilige Wort gelöscht. Darüber hinaus werden im Formular Checkboxes eingesetzt, um spezielle Ereignisse wie mechanische Mängel zu dokumentieren.

Abbildung 148 zeigt den Aufbau des Kontrollgangprotokolls. Durch diese Konvertierung lassen sich viele Vorteile der digitalen Repräsentation nutzen. Mittels Such- und Filtermöglichkeiten kann in den handschriftlich verfassten Dokumenten gesucht werden. Identifizierte Einträge können in der ASCII-Repräsentation sowie in der handschriftlichen Darstellung gekennzeichnet werden. Andere Operatoren können so jederzeit direkt von ihrem Arbeitsplatz auf Kontrollgangprotokolle zugreifen, in diesen Dokumenten suchen und gegebenenfalls ausdrucken. Mit einem Zeitstempel werden die gesamten Informationen in einer Datenbank abgelegt. Somit erfolgt eine lückenlose Dokumentation von Änderungen, die zu jeder Zeit nachvollzogen werden können.

Siemens AG Demonstrationskraftwerk	Kontrollgang Runde 1	Nr. 1 Jahr 2011
Kontrollpunkte		Datum:
Kontrollpunkt Nr.:	Titel:	Ort:
Anlagen ID:	Bezeichnung Anlagenteil:	
Signal:	Signalart:	Einheit:
Ereignis		Zeitpunkt:
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>Alles in Ordnung <input type="checkbox"/></p> <p>Mechanische Mängel <input type="checkbox"/></p> <p>Dampfaustritt <input type="checkbox"/></p> <p>Abnutzungserscheinungen <input type="checkbox"/></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>Erhöhte Geräusche <input type="checkbox"/></p> <p>Schleifspuren <input type="checkbox"/></p> <p>Lärm <input type="checkbox"/></p> <p>Geruchsbildung <input type="checkbox"/></p> </div> </div>		
Befund:		

Abbildung 148 Ausschnitt aus einem Kontrollgangprotokoll

Die handschriftlich erfassten Notizen werden mittels Schrifterkennung in ASCII-Zeichen umgewandelt.

Die digitale Repräsentation steht bereits während des Schreibvorgangs mehreren Mitarbeitern an unterschiedlichen Standorten zur Verfügung. Wird während eines Kontrollgangs ein Wert in die

Spalte Befund eingetragen, der einen Schwellenwert (z. B. maximaler Kesseldruck) überschreitet, können sofort weiterführende Aktionen ausgelöst werden. Mit Hilfe der implementierten Handschrifterkennung wird ermittelt, ob ein Schwellenwert überschritten worden ist. Zusätzlich werden die Checkboxen ausgewertet und je nach Bedarf eine Aktion ausgeführt. Die anderen Personen wie Operatoren und Schichtleiter, die von diesem anormalen Prozesszustand betroffen sind, werden informiert, indem im digitalen Abbild des Protokolls die entsprechende Stelle markiert wird. Das Protokoll kann über den Funktionsbutton ausgedruckt oder in Form einer E-Mail versendet werden. Neben der Handschrifterkennung wird eine zusätzliche Funktion umgesetzt, um weitere Artefakte zu digitalisieren. Die Nutzungskontextanalyse zeigt (siehe Abschnitt 3.2.3), dass die Operatoren sich häufig Skizzen anfertigen, um Sachverhalte zu dokumentieren. Somit wird eine Funktion umgesetzt, die die analog erstellten Skizzen, Ablaufpläne oder Flussdiagramme digitalisiert und auf dem interaktiven Display zur Verfügung stellt.

6.2.4 Evaluation

Basierend auf den vorgestellten Konzepten, sind Experteninterviews in Form einer explorativen Nutzerbefragung geführt worden. Ziel der Interviews ist es, herauszufinden, ob die gestalteten realitätsbasierten Dokumentationsformen Vorteile gegenüber der heutigen analogen Erfassung von Dokumenten wie in Schichtbüchern bieten. Ferner wird im Rahmen der Experteninterviews in der Nutzungskontextanalyse der Technologie wenig Vertrauen entgegengebracht (siehe Abschnitt 3.2.3). Mit den gestalteten funktionsfähigen Prototypen soll diese Beurteilung nochmals hinterfragt werden.

Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist für einen mobilen Einsatz entworfen worden, da die Experten nicht in das Labor der Universität Konstanz reisen konnten. Für die Evaluation wird ein 55“ großes Interactive Tabletop mit einer Auflösung von 1.920×1.080 Pixeln in einer Höhe von 80 cm eingesetzt (siehe Abbildung 149).

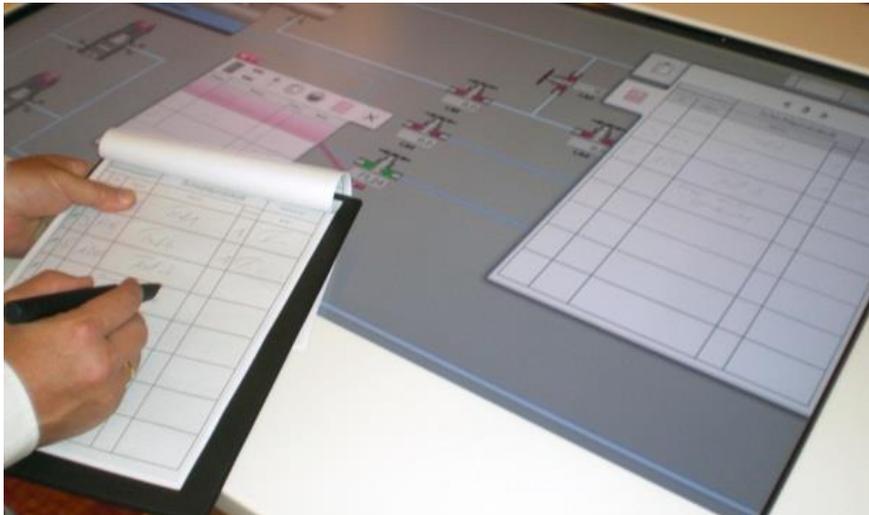


Abbildung 149 Mobiler Versuchsaufbau für Dokumentationsstätigkeiten

Horizontal ausgerichtetes interaktives Display mit analogem Schichtbuch auf dem Klemmbrett

Die Navigation im Fließbild entspricht dem *Push Background*-Prinzip (Johnson, 1995). Analog den Konzepten der Manipulationsebene (siehe *Design Case II* Abschnitt 5.2.4 und *Design Case III* Ab-

schnitt 6.1.4) wird ein *Control-Display-Ratio*⁴⁷ im Verhältnis von 1:1 (Fingerbewegung = Fließbildbewegung) umgesetzt, um die realweltliche Interaktion mit Karten oder Plänen nachzuahmen (vgl. *Input Space 1*). Die Skalierungsfunktion (Vergrößern und Verkleinern) in der Prozessübersicht (siehe Abbildung 150) wird deaktiviert, um die Evaluation kontrollierbar zu halten.

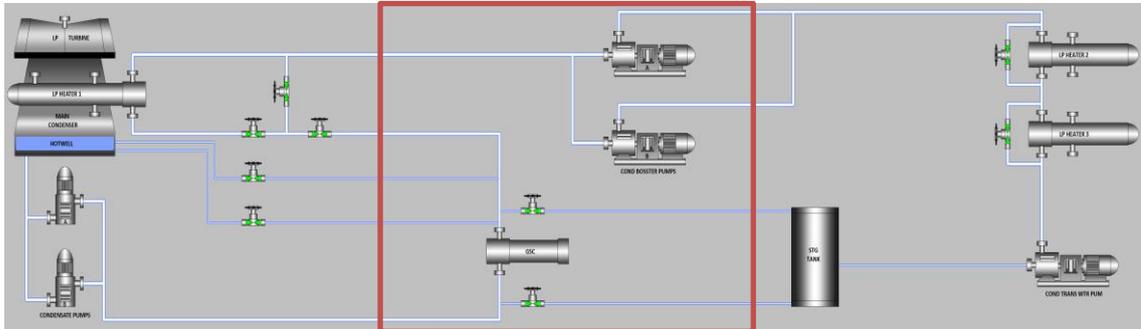


Abbildung 150 Prozessbild für die Untersuchung der Dokumentationstätigkeiten

Das Prozessbild wird in drei Abschnitte gegliedert, d. h., die Probanden sehen nur ein Drittel (roter Rahmen) des Prozesses auf dem Interactive Tabletop.

Versuchsablauf

Zu Beginn gibt der Versuchsleiter eine standardisierte Einführung sowohl in die Benutzungsschnittstelle als auch in die Digital-Pen & Paper-Technologie. Hierbei wird zunächst das Prozessbild erläutert, und im Anschluss daran werden die Konzepte für das Schichtbuch und Kontrollgangprotokoll mit den möglichen Interaktionsformen vorgestellt. Danach folgt eine kurze Explorationsphase, in der sich die Teilnehmer mit den Technologien vertraut machen können. Während dieser Phase können die Teilnehmer bei Bedarf Unterstützung vom Versuchsleiter einfordern.

Der Hauptteil der Untersuchung hat einen explorativen Charakter. Die Probanden werden dazu angehalten, Einträge in das Schichtbuch und auch Kontrollgangprotokolle zu verfassen. Die gesamte Untersuchung dauert zwischen 30 und 45 Minuten pro Teilnehmer.

Methoden zur Datenerhebung

Zur Datenerhebung werden teilnehmende Beobachtungen und Experteninterviews eingesetzt. Die Teilnehmer werden angehalten, während der Studie *laut zu denken* (*Thinking Aloud-Methode* nach Someren et al., 1994). Die halbstandardisierten Experteninterviews werden wie zuvor in den Evaluationen nach der Methode von Helfferich (2005) mit einer Leitfrage, Aufrechterhaltungsfrage und dem abschließenden konkreten Nachfragen geführt. Durch den explorativen Charakter der Untersuchung werden die Ergebnisse nicht statistisch ausgewertet.

Stichprobe

An der Expertenbeurteilung nehmen fünf männliche Personen mit leitenden Tätigkeiten (Projektierung von Anlagen) aus dem Bereich Energiegewinnung teil. Im Durchschnitt sind die Teilnehmer 44.62 Jahre ($SD = 6.23$) alt. Darüber hinaus gibt in Bezug auf die Vorerfahrung ein Proband an, die Digital-Pen & Paper-Technologie im privaten Bereich schon einmal selbst ausprobiert zu haben, selbst aber keinen digitalen Stift zu besitzen. Alle Teilnehmer haben bereits Erfahrung mit der Touch-Technologie, meist durch die private Nutzung von Smartphones oder durch den Einsatz in der Leitwarte, z. B. Auswahl der einzelnen Überwachungskameras mittels Touchscreen.

⁴⁷ Control-Display-Ratio ist das Verhältnis aus der Bewegungsgeschwindigkeit eines Eingabegeräts und der resultierenden Bewegung des Zeigers (Gibbs, 1962).

Ergebnisse

Insgesamt hat die explorative Expertenstudie gezeigt, dass die gestalteten Interaktions- und Visualisierungskonzepte leicht verständlich sind und in der Arbeitsumgebung von Operatoren zum Einsatz kommen können. Im Folgenden werden die Hauptaussagen der Probanden in Bezug auf das Schichtbuch und Kontrollgangprotokoll zusammengefasst. Dabei werden die Rückmeldungen in die Hauptkategorien *Interaktion und Visualisierung*, *Robustheit der Technologie* und mögliche *Einsatzorte der Technologie* gegliedert.

Interaktion und Visualisierung – Die Experten geben an, dass die Interaktion mit dem digitalen Stift, d. h. das Erstellen und auch die Sprungfunktion in den jeweiligen Kontext der Prozessübersicht, sehr intuitiv gestaltet ist (Zitat: „*Man kann einfach wie bisher mit einem herkömmlichen Stift auf Papier schreiben. Ich merke gar nicht, dass ich einen Spezialstift in der Hand halte.*“). Das bestätigen auch die Beobachtungen während der ersten Explorationsphase. Die Probanden haben keinerlei Probleme mit der Bedienung, d. h. dem Schreiben von prozessspezifischen Inhalten bzw. dem Abrufen von Detailinformationen über das analoge Formular (Zitat: „*Das Abrufen von Detailinformationen mit dem Stift ist ja total einfach.*“). Auch die Annotationsformen wie die Löschfunktion werden sehr gut bewertet (Zitat: „*Die Funktion zum Löschen von Eingaben ist sehr hilfreich.*“). Weiterhin werden die analoge und auch die digitale Repräsentation der Aufzeichnungen im Schichtbuch und Kontrollgangprotokoll positiv bewertet (Zitat: „*Ich als Führungskraft kann direkt von meinem Arbeitsplatz aus sofort auf die Daten zugreifen.*“). In diesem Zusammenhang stimmen alle Teilnehmer darin überein, dass vor allem die Suchfunktion im Kontrollgangprotokoll die explizite Nachforschung nach Ereignissen unterstützt (Zitat: „*Jetzt kann ich ja wie in einer Suchmaschine nach Ereignissen suchen.*“).

Die Skizzenfunktion im Kontrollgangprotokoll bietet nach Aussagen der Experten enorme Vorteile, da schnellstmöglich einfache Zeichnungen von Werteverläufen im Kontext abgespeichert werden können. Von zwei der Probanden wird eine Personalisierung der Stifte, d. h. Zuordnung der Annotation zur Person (z. B. Annotationen im Anlagenplan), gewünscht.

Die Experten geben zu bedenken, dass der Operator durch den Einsatz des Interactive Tabletop stärker beansprucht wird, da dessen Bedienung nicht bequem vom Stuhl aus geschieht. In den heutigen Desktop-Systemen muss lediglich die aufgelegte Hand bewegt werden, um den gesamten Prozess mit der Maus zu steuern. (Zitat: „*Bei der herkömmlichen Mausbedienung ist die Belastung für den Operator geringer.*“). Die Ausrichtung des Interactive Tabletop ist jedoch dem Untersuchungsaufbau geschuldet, um mit den Teilnehmern besser diskutieren können.

Das eingesetzte Display ist nach Einschätzung der Fachleute zu groß für einen Operatorarbeitsplatz. Für Übergabeszenarien, wie sie nach Schichtende stattfinden, werden dagegen sowohl die Größe als auch die Ausrichtung des Displays positiv bewertet. Denn die übergebenden Operatoren können die Übergabe bequem anhand der analogen Aufzeichnungen mit dem neu zur Schicht gekommenen Kollegen ausführen, während die restlichen Teammitglieder sich frei um das Display positionieren können. Durch die interaktive Auswahl können alle am Prozess beteiligten Personen die Vorgänge auf der großen Übersicht nachvollziehen (Zitat: „*Die Ausrichtung des großen Displays bietet sich gerade dazu an, um Schichtübergaben durchzuführen.*“).

Robustheit der Technologien – Während der Diskussionen wird immer wieder das Thema der Robustheit angesprochen. Alle Teilnehmer haben Bedenken bei einer Verschmutzung des Papiers (Zitat: „*Darf das Papier schmutzig werden?*“). Jedoch sind im Vorfeld der Untersuchung ausgiebige Tests durchgeführt worden, in denen das Papier mit Öl beschmutzt worden ist. Hierbei zeigt sich, dass nur, wenn das Punktemuster völlig überdeckt wird, keine Erkennung mehr möglich ist. Darüber hinaus stellen die Experten klar, dass der Stift für den täglichen Einsatz sehr widerstandsfähig sein muss, und zwar vor allem bei den Kontrollgängen in der Anlage. Sollte die Bluetooth-Verbindung einmal abbrechen, müsste der Stift zusätzlich mit einem internen Speicher ausgestattet sein, um die

digitalen Daten zwischenspeichern und zu einem späteren Zeitpunkt zu synchronisieren. Die Firma Anoto⁴⁸ bietet einen Stift mit Speicherkapazität im Portfolio an. Ferner erwarten die Teilnehmer eine entsprechende Rückmeldung, wenn die Schrifterkennung nicht korrekt arbeitet (Zitat: „*Wie sehe ich auf dem Papier, ob meine Handschrift erkannt wurde?*“). Um dem entgegenzuwirken, wird die Funktion eingesetzt, die ein Umschalten zwischen einer Darstellung sowohl mit der als auch ohne die handschriftliche Erkennung erlaubt.

Darüber hinaus müssen nach Expertenmeinung die Akkus der Stifte aufgrund der Anforderungen eines 24-Stunden-Betriebs lange halten. Die Stifte können jedoch während der Nichtbenutzung in einer Dockingstation geladen werden. Bezüglich des Interactive Tabletop kommt immer wieder die Nachfrage, ob Gegenstände auf der Interaktionsfläche abgestellt werden dürfen (Zitat: „*Was passiert, wenn ein Operator eine Kaffeetasse oder ein Papier auf dem Tisch ablegt?*“). Dieser Aspekt muss beim Einsatz in der Arbeitsumgebung berücksichtigt werden, indem genügend freie Flächen um den interaktiven Bereich zur Verfügung gestellt werden. Auch die notwendige Pflege der Oberfläche nach Fingerabdrücken wird von den Experten diskutiert. (Zitat: „*Wie sieht's mit der Pflege der Oberfläche aus?*“).

Einsatzorte der Technologie – Nach Rückmeldung der Experten könnte die Technologie neben Schichtbuch und Kontrollgang auch bei Meetings eingesetzt werden, um die Gesprächsnotizen und Ergebnisse sofort in digitaler Form zur Verfügung zu haben. Oder bei Bedarf können diese auch anderen Kollegen, die nicht am Meeting teilnehmen konnten, zur Verfügung gestellt werden (Zitat: „*Ich würde die Technik auch gerne in die Meetings mitnehmen, dann kann ich das Protokoll digital versenden.*“). Darüber hinaus kann die Digital-Pen & Paper-Technologie bereits in der frühen Phase der Anlagenplanung als Engineering-Tool zum Einsatz kommen. So könnten Annotationen direkt in den großen papierbasierten Anlagenplänen vorgenommen werden (Zitat: „*Kann mir gut vorstellen, dass der Stift schon bei der Projektierung zum Einsatz kommen könnte, um die Anlagenpläne direkt zu ändern.*“).

Nach Aussagen der Experten wäre es sehr hilfreich, wenn es „*Schnittstellen zu Excel und SAP*“ geben würde. Mit den entsprechenden Schnittstellen würden die Workflows (digitale Weiterverarbeitung) noch besser unterstützt werden. Den Einsatz eines großen Interactive Tabletop können sich die Experten als Schichtleiterarbeitsplatz oder Planungstisch, z. B. für Schichtübergaben in der Leitwarte, vorstellen. Bei anormalen Betriebszuständen könnte das interaktive Display als Lagetisch (vgl. Projekt THW nach Nebe et al., 2011; Projekt eGrid nach Selim & Maurer, 2010) eingesetzt werden.

6.2.5 Diskussion und Fazit

Die Experten bewerten die Interaktions- und Visualisierungskonzepte überwiegend positiv. Somit wird in der Untersuchung in Bezug auf die Forschungsfrage (F1) bestätigt, dass die gestalteten Konzepte einen annähernd nahtlosen Übergang zwischen der analogen klassischen Form der Stifteingabe und der digitalen Welt zur Verfügung stellen.

Durch die Digital-Pen & Paper-Technologie ist eine digitale sowie eine analoge Repräsentation der Informationen verfügbar. Die Verwendungsmöglichkeiten des digitalen Stifts, kombiniert mit dem digitalen Papier als Schichtbuch oder Kontrollgangprotokoll, werden von den Experten als sinnvolle Einsatzszenarien angesehen. Rechtliche Vorgaben zur Fälschungssicherheit werden eingehalten, und trotzdem können alle Vorzüge der digitalen Welt vollständig ausgeschöpft werden. Das ermöglicht insbesondere bei sicherheitskritischen Systemen wie in Kraftwerken eine enorme Effizienzsteigerung.

Das analoge Abrufen von Detailinformationen mit Hilfe des Stifts wird von den Teilnehmern als eine effiziente Möglichkeit gesehen, schnell während der Schichtübergaben im Protokoll interagieren zu können. Weitere Einsatzszenarien werden von den Experten im Bereich von Gesprächsprotokollen oder Engineering-Tätigkeiten bei der Projektierung vorgeschlagen.

⁴⁸ <http://www.anoto.com>, zuletzt aufgerufen am 25.06.2014.

Grundsätzlich haben die Experten Bedenken in Bezug auf die Robustheit der Digital-Pen & Paper-Technologie und auch beim Interactive Tabletop. Hier bedarf es weiterer Forschungsarbeit, wobei die Konzepte über einen längeren Zeitraum im realen Nutzungskontext eingesetzt werden sollen.

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, die vorgestellten Konzepte zu erweitern. So kann der Stift mit einem Mikrofon ausgestattet werden, um die Aufnahme von Sprachnotizen zu ermöglichen. Diese Sprachmemos können während der Aufnahme mit dem geschriebenen Text verknüpft werden. Das Sprachmemo wird daher in den geschriebenen Text integriert. So können beispielsweise während eines Kontrollgangs mit Hilfe des Stifts zusätzliche Sprachnotizen aufgenommen und im Kontext des Protokolls gespeichert werden. Beim Kontrollgang durch die Anlage müssen nur das papierbasierte Protokoll und der digitale Stift mitgenommen werden. Durch einen im Stift eingearbeiteten Lautsprecher könnten dann die Sprachmemos wiedergegeben werden. Dabei wird die Memofunktion beispielsweise über einen Funktionsbutton ausgewählt und der Stift im Anschluss an der Stelle positioniert, an der das Sprachmemo hinterlegt worden ist. Das Memo in Verknüpfung zum Text kann dagegen an den Rechner übertragen und damit auch anderen Operatoren zur Verfügung gestellt werden. Die Memofunktion könnte ergänzend mit einer zusätzlichen Kamera im Digitalstift zur Aufzeichnung von Videodaten herangezogen werden. So können beispielsweise kritische Systemzustände schnell aufgenommen und vom Operator mit Kommentaren angereichert werden.

Ferner kann die Rückmeldefunktion während des Dokumentierens von kritischen Parametern (z. B. Schwellenwerten), die derzeit nur digital umgesetzt werden, erweitert werden. So kann der Operator nicht nur auf dem Display über kritische Werte informiert werden, sondern auch unmittelbar während der Eingabe über den Stift. Daraus lassen sich unterschiedliche Modalitäten wie optisch (z. B. Blinklicht), akustisch (z. B. Warnton) oder haptisch (z. B. Vibration) bzw. eine Kombination aus den drei Varianten ableiten. Die Stifte könnten auch mit unterschiedlichen Farben (Kugelschreibermine), z. B. *rot* für Vermerke mit hoher Priorität, ausgestattet werden. Jeder Stift könnte mit einer eindeutigen ID versehen werden und würde in diesem Zusammenhang seine Farbe kennen. Somit würde auch das digitale Abbild die entsprechende Priorisierung verwenden können.

Auf der Basis der vorgestellten Ergebnisse aus den Experteninterviews müssen die entwickelten Konzepte in einem weiteren Schritt empirisch untersucht werden, um die Validität der Erkenntnisse zu stärken. Die weitere Nutzerstudie muss ebenfalls mit Domänenexperten erstellt werden. Darüber hinaus muss eine Übertragung der Konzepte auf andere Domänen in weiteren Forschungsarbeiten überprüft werden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Inhalt

7.1 Zusammenfassung.....	219
7.2 Reflexion – Domänenübergreifende Nutzungskontextanalyse.....	220
7.3 Reflexion – Blended Interaction als Gestaltungsansatz.....	224
7.3.1 Analyse.....	224
7.3.2 Design.....	226
7.3.3 Übertragbarkeit der Ergebnisse.....	231
7.4 Ausblick.....	234

Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, mit Hilfe des Frameworks *Blended Interaction* realitätsbasierte Interaktions- und Visualisierungskonzepte für die Leitwarte zu entwerfen, die sich an den Bedürfnissen der Operatoren orientieren. Dabei werden Erkenntnisse berichtet, die im Rahmen von vier exemplarischen *Design Cases* gewonnen werden. Zu Beginn dieses Kapitels wird nochmals eine Zusammenfassung der Arbeit gegeben. Ferner wird der wissenschaftliche Beitrag anhand der Forschungsfragen erläutert. Dabei werden die Erkenntnisse der Nutzungskontextanalyse (F1), der Einsatz der *Blended Interaction* (F2), die Konzepte der *Design Cases* (F3 und F4) und die Übertragung der Ergebnisse (F5) reflektiert. Abschließend wird in einem Ausblick auf weitere Gestaltungsmöglichkeiten einer holistischen Arbeitsumgebung hingewiesen.

Teile dieses Kapitels sind bereits veröffentlicht worden in:

Schwarz, Tobias; Butscher, Simon; Müller, Jens; Reiterer, Harald: Blended Interaction – Neue Wege zur Vermischung realer und digitaler Interaktionskonzepte im Kontext von Leitwarten. In at – Automatisierungstechnik (Multimodale Interaktion), Oldenbourg Verlag, S. 749-759, November 2013.

Schwarz, Tobias; Müller, Jens; Butscher, Simon; Reiterer, Harald: Die Wiederentdeckung analoger Interaktionsqualitäten in der digitalen Leitwarte. In i-com, Oldenbourg Verlag, S. 25-33, November 2013.

7.1 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wird auf Basis der *Blended Interaction* sowohl ein ganzheitliches Interaktions- und Visualisierungskonzept für Überwachungs- und Diagnostizitätigkeiten als auch für die Manipulation von Prozessvariablen und Dokumentationstätigkeiten vorgestellt. Zunächst wird in die Designdomäne Leitwarte (siehe Kapitel 2) anhand der unterschiedlichen Interaktionsformen, die sich über die Jahre hinweg entwickelt haben, eingeführt. Die Paradigmen der Prozessführung zeigen, wie sich die Arbeit in alltäglichen Prozesssituationen von Operatoren verändert hat. Darüber

hinaus werden die grundlegenden Modelle der menschlichen Informationsverarbeitung vorgestellt, um die kognitiven Verarbeitungsprozesse eines Operators unter dem Einfluss einer immer komplexeren Prozessführung zu begreifen. Dabei handelt es sich bei den Aufmerksamkeits- und Wahrnehmungsprozessen um komplexe und tiefgreifende Gedächtnisprozesse, die durch angemessen gestaltete Benutzungsschnittstellen entscheidend beeinflusst werden können. So können Benutzungsschnittstellen, die die sinnlich-körperliche Wahrnehmung unterstützen, den Operator in der Prozessführung entlasten.

Die konkreten Anforderungen für eine nutzerzentrierte Arbeitsumgebung werden zu Beginn des Projektverlaufs anhand einer domänenübergreifenden Nutzungskontextanalyse von Produktions- und Informationsprozessen abgeleitet. Die Erkenntnisse über die Tätigkeiten und die identifizierten Optimierungspotenziale der domänenübergreifenden Nutzungskontextanalyse (Kapitel 3) sind somit Ausgangspunkt für die benutzerorientierte Gestaltung der Arbeitsumgebung. Die Ergebnisse liefern konkrete Verbesserungspotenziale, die im Rahmen der *Design Cases* aufgeführt werden.

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird in Kapitel 4 auf Basis der abgeleiteten Anforderungen aus der Vor-Ort-Analyse ein generisches Konzept für eine ganzheitliche Arbeitsumgebung beschrieben. Das konzeptionelle Framework der *Blended Interaction* bildet dabei das übergeordnete Gestaltungsmodell für die Entwürfe von neuartigen Interaktions- und Visualisierungskonzepten für Benutzungsschnittstellen in Leitwarten. Die Grundlagen der *Blended Interaction* bilden die Gestaltungsebenen der *Reality-based Interaction* (Jacob et al., 2007, 2008) und das konzeptionelle Werkzeug *Conceptual Blending* (Fauconnier & Turner, 2002; Imaz & Benyon, 2007). Leitbild bei der Gestaltung der realitätsbasierten Konzepte ist es, den Operator mit seinen natürlich angeborenen Fähigkeiten sowie den situativen Kontext der Arbeitsumgebung zu beachten. Dabei werden die Qualitäten der realen Welt, die durch eine natürliche Form der Interaktion geprägt sind, mit den Möglichkeiten der digitalen Welt mit hoher Verarbeitungskapazität von Informationen vereint.

In den unterschiedlichen *Design Cases* werden in Kapitel 5 und 6 die vier Gestaltungsebenen der *Blended Interaction* mit unterschiedlich starken Ausprägungsformen umgesetzt. Die in den *Design Cases* beschriebenen und mittels der *Blended Interaction* gestalteten Konzepte verdeutlichen, wie Operatoren bei der Erfüllung von typischen Arbeitssituationen – der Überwachung, der Diagnose, der Manipulation und der Dokumentation – effizienter unterstützt werden können. Dabei wird durch den Einsatz von realitätsbasierten Konzepten das Ziel verfolgt, dem Operator den technischen Prozess wieder näher zu bringen. So wird zum einen für die Arbeitsschritte der Überwachung und Diagnose ein Interaktions- und Visualisierungskonzept entwickelt, das sich an den Interaktionsqualitäten früherer Leitwarten orientiert. Und zum anderen wird in Anlehnung an die realen Kontrollelemente in Verbindung mit den assoziierten physischen Größen ein starker Prozessbezug für die Manipulation von Prozessvariablen hergestellt. Ferner wird ein Konzept für die Dokumentationsprozesse gestaltet, das die gewohnte handschriftliche Datenerfassung mit den Vorteilen der digitalen Informationsverarbeitung verbindet.

Das abschließende Kapitel 7 fasst im Folgenden den wissenschaftlichen Beitrag der Arbeit noch einmal zusammen und reflektiert auf Basis der exemplarischen *Design Cases* die gesammelten Erkenntnisse. Dabei wird diskutiert, inwieweit die vorgestellten Konzepte die vorherrschenden Interaktionsparadigmen der Leitwarten ablösen können. Am Ende werden Anknüpfungspunkte für weiterführende Forschungsvorhaben aufgezeigt.

7.2 Reflexion – Domänenübergreifende Nutzungskontextanalyse

Im Folgenden werden zunächst anhand der Forschungsfrage (*F1*) die Erkenntnisse aus der domänenübergreifenden Nutzungskontextanalyse vorgestellt und diskutiert. Darüber hinaus werden die Potenziale der eingesetzten Untersuchungsmethodik im Hinblick auf den Einsatz für zukünftige

Vor-Ort-Analysen in Leitwarten diskutiert, um die Herausforderungen und auch Anknüpfungspunkte zu erläutern. Zusätzlich zur Ableitung von wissenschaftlichen Erkenntnissen aus der Fachliteratur werden die Bedürfnisse und Erwartungen an neue Benutzungsschnittstellen von realen Nutzern über verschiedene Domänen hinweg erhoben. Dadurch kann ein holistisches Verständnis für die Anforderungen und Tätigkeiten am Arbeitsplatz gewonnen werden, um eine nutzerorientierte Optimierung der Arbeitsumgebung sicherstellen zu können. Die Operatoren werden als Experten für ihr jeweiliges Berufsfeld über ihre alltäglichen Tätigkeiten befragt. Sie erhalten die Chance, sich über Vor- und Nachteile ihres Arbeitsplatzes und ihrer Tätigkeit zu äußern, um so direkten Einfluss auf künftige Entwicklungen im Bereich der Leitwarten nehmen zu können. Darüber hinaus werden Fragen zu neuen Interaktionstechnologien gestellt, um die Sinnhaftigkeit und Akzeptanz eines Einsatzes neuartiger Bediengeräte in der Zukunft zu eruieren.

Die Ergebnisse der Nutzungskontextanalyse belegen die Vermutung, dass sich in Bezug auf die Tätigkeiten innerhalb der jeweiligen Arbeitsschritte über die unterschiedlichen Domänen hinweg große Ähnlichkeiten ableiten lassen. Lediglich der *funktionale Zweck* zeigt Unterschiede in Bezug auf die objektbezogene Überwachung und Steuerung in den verschiedenen Domänen auf. So wird beispielsweise in Kraftwerken zur Energiegewinnung die Verbrennung von Kohle in großen Brennkammern überwacht, und in der integrierten Feuerwehroleitstelle werden die Betriebsmittel (Fahrzeuge) koordiniert.

Die alltäglichen Situationen in Leitwarten lassen sich aus Sicht der Operatoren abhängig vom technischen Prozessbezug nach Primär-, Sekundär- und Tertiäraufgaben unterscheiden. Diese Einteilung wird auch zur Abgrenzung der im Rahmen der Arbeit entwickelten Konzepte herangezogen, um so den Hauptfokus auf die Unterstützung von direkten Prozessaktivitäten zu lenken. Zu den Primärtätigkeiten zählen alle Aktivitäten, die zur Herstellung oder Aufrechterhaltung der Prozessführung notwendig sind. Innerhalb der unterschiedlichen Aufgaben werden in Anlehnung an Johannsen (2008) die Tätigkeiten Überwachung, Diagnose, Manipulation und auch die Dokumentation identifiziert, die auf der Handlungs- und Operationsebene verbessert werden müssen, um die Operatoren in ihrer täglichen Arbeit besser zu unterstützen. Bei der Analyse der Ergebnisse stellt sich heraus, dass die Tätigkeiten, Handlungen und direkten Operationen (z. B. Scrollen mit der Maus im Übersichtsbild) domänenübergreifend sehr ähnliche Muster aufweisen. Nach der Aktivierung durch die Entdeckung eines Handlungsbedarfs treten im Rahmen von Überwachungs- und Diagnosetätigkeiten immer wiederkehrende Handlungsmuster auf. Die Aktivierung geschieht auf unterschiedliche Art und Weise, z. B. durch eine eingehende Systemmeldung bzw. einen Telefonanruf oder eine erkannte Abweichung durch den Operator. Während der Problemdiagnose wird vom Operator in den jeweils einzelnen Handlungsschritten unterschiedlich mit der Benutzungsschnittstelle oder mit Kollegen sozial durch verbale oder nonverbale Kommunikation interagiert. Dabei findet der Operator ein Sammelsurium von Einzelgeräten vor, das zudem nicht auf die Ausführung der Tätigkeiten abgestimmt ist. Gerade die nonverbale Kommunikation zwischen den Operatoren durch Körperbewegung wird heute in den Leitwarten durch die eingesetzten Geräte wie Maus und Tastatur unzureichend unterstützt, und das, obwohl die zunehmende Automatisierung und Virtualisierung der technischen Prozesse in Verbindung mit der Reduzierung von Operatoren eine noch effizientere Zusammenarbeit erfordert. Zur reibungslosen Arbeitsteilung müssen die zwischenmenschlichen Beziehungen durch soziale Interaktions- und Kommunikationskonzepte gefördert werden.

Der physische Aufbau ist über alle Leitwarten hinweg insofern identisch, als dass für die globale Prozessübersicht ein bzw. mehrere große Wanddisplays und für die verteilten Detailansichten mehrere Bildschirme direkt am Arbeitsplatz der Operatoren verortet sind. Die Displays in den Domänen sind allesamt vertikal ausgerichtet. Die Benutzungsschnittstellen sind immer noch wie bei Desktop-Computern mit Maus und Tastatur gesteuert. Beim Vergleich der Prozessvisualisierung

(Stoff-, Energie- und Informationstransport) zeigt sich in der Grundstruktur, dass diese meist eine netzwerkartige Struktur, z. B. in Straßen- und Stromversorgungsnetzen, aufweist. Die Visualisierungskonzepte entsprechen einer topologischen Prozessansicht, die die Struktur von Objekten im Raum aufzeigt. Eine erkannte Problematik lässt sich als Übersichts-Detail-Paradoxon definieren. Das entsteht dadurch, dass Operatoren für ihre tägliche Arbeit eine Übersicht über den Überwachungsraum sowie Detailinformationen benötigen.

Durch die Digitalisierung hat ein entscheidender Wandel im Ablauf der manuellen Prozesseingriffe stattgefunden. Manuelle sowie haptisch erfahrbare Stellteile (Drehregler und Schieberegler) werden durch heutige virtuelle Kontrollelemente ersetzt und mit Maus und Tastatur bedient. Die digitale Prozessführung ermöglicht die Überwachung von komplexen Prozessen, vernachlässigt aber die sinnlich-körperliche Wahrnehmung der Prozessdynamik, die dem Operator dazu dient, sich ein Gesamtbild abzuleiten. Darüber hinaus zeigt sich auch, dass die eingehenden Meldungen, die den Operator auf Störungen und Fehlfunktionen hinweisen, auf einem dezidierten Bildschirm dargestellt werden. Eine Verbindung von lokalem Kontext und der Meldung muss vom Operator in allen Leitwarten selbständig hergestellt werden.

Durch die Beobachtung vor Ort kann ein Verständnis von den typischen Nutzerszenarien und der Arbeitsumgebung geschaffen werden. So zeigt sich, dass nach wie vor parallel zur digitalen Welt der Informationsbeschaffung physische Artefakte wie Schichtbücher, Anlagenpläne oder Notizzettel eingesetzt werden, die von den Operatoren gegenüber ihren digitalen Äquivalenten bevorzugt werden. Die analogen Artefakte sind derzeit nicht mit dem digitalen Prozess verknüpft, was eine Weiterverarbeitung erschwert. In allen untersuchten Leitwarten werden vornehmlich analoge Schichtbücher zu Dokumentationszwecken eingesetzt. Der größte Vorteil der handschriftlichen Erfassung liegt in der Möglichkeit der schnellen Datenerfassung. Jedoch besteht der große Nachteil darin, dass die Aufzeichnungen lediglich in analoger Form nur ein einziges Mal, und zwar im Original vorliegen. Die Daten können nur manuell kopiert oder eingescannt und im Anschluss weitergegeben werden. Bei der Vervielfältigung kommt es aber zusätzlich zu einer zeitlichen Verzögerung, da ein manueller Arbeitsschritt notwendig ist. Darüber hinaus können durch die manuelle Eingabe von handschriftlichen Aufzeichnungen durch den Operator in das System Unvollständigkeiten oder gar Fehleintragungen übertragen werden. Die Operatoren können unterstützt werden, indem der Medienbruch zwischen der analogen und digitalen Welt entfällt. Auf Basis der erhobenen Daten zeigt sich, dass domänenübergreifende Möglichkeiten geschaffen werden müssen, um die Arbeitsumgebung von Operatoren zu optimieren.

In Bezug auf die Diskussion, ob die Operatoren eher passive oder aktive Prozessführer sind, zeigt sich bei der Betrachtung der persönlichen und sozialen Interaktion in den einzelnen Leitwarten ein klares Bild. Denn auch die alltäglichen Prozesssituationen erfordern eine ständige Interaktion sowohl mit der Benutzungsschnittstelle als auch der Abstimmung in Form von unterschiedlichen Kommunikationsartefakten. Gerade in der integrierten Leitstelle der Feuerwehr ist eine ständige aktive Koordination der Betriebsmittel gefragt, da ständig neue Meldungen beim Operator eingehen. Lediglich die reine Überwachung und somit die direkte Betrachtung der Prozessübersicht auf den großen Wanddisplays ist, auf die Interaktion bezogen, eine eher passive Tätigkeit.

Unter der Verwendung eines nutzerzentrierten Vorgehens durch Nutzungskontextanalyse und Experteninterviews werden Aufgaben und Tätigkeiten aus dem Arbeitsalltag eines Operators analysiert und beschrieben. Die in der vorliegenden Arbeit angewandten Methoden und Instrumente erweisen sich größtenteils als sehr angemessen, eine gewisse Flexibilität im Ablauf ist jedoch aufgrund organisationaler und personeller Gegebenheiten vor Ort notwendig. Der Ansatz des *Contextual Design* (Beyer & Holtzblatt, 1997) ist nicht speziell für den Kontext von komplexen Systemen entwickelt worden. Dieser bietet dennoch Methoden und Werkzeuge, die in der Praxis modifiziert zur Analyse der Arbeitsumgebung eingesetzt werden können. So ist beispielsweise im Vorfeld des

Contextual Design nicht vorgesehen, sich mit der Domäne auseinanderzusetzen. Ohne entsprechendes Vorwissen ist es jedoch schwierig, die komplexen Prozesse vor Ort zu verstehen. Die *Cognitive Work Analysis (CWA)* (Vicente, 1999) kann den Forscher für komplexe Systemzusammenhänge sensibilisieren und bietet somit den Vorteil, dass er sich während der Vorbereitung und Durchführung der Nutzungskontextanalyse nicht nur spezifisch auf die Aufgaben der Operatoren bezieht. Vielmehr muss das System ganzheitlich betrachtet werden. Deshalb wird für den querschnittlichen Vergleich der unterschiedlichen Domänen ein Methodenmix aus *CWA* und *Contextual Design* gewählt. Durch die in den Alltag eingebettete Methode der Untersuchung sind eventuelle Störfaktoren (z. B. unvorhergesehene Prozessereignisse), was den Vergleich über die Domänen hinweg beeinflussen kann, auch für zukünftige Forschungsaktivitäten zu berücksichtigen.

Die Anwendung weiterer Methoden zur Datenerhebung in Verbindung mit den im Rahmen der Arbeit verwendeten ist selbstverständlich möglich. Allerdings muss auf den spezifischen sicherheitskritischen Kontext der Leitwarten geachtet werden. So dürfen sich Mitarbeiter während der Schicht häufig nicht von ihrem Arbeitsplatz entfernen – ein Faktor, der beispielsweise Techniken wie das *Card Sorting* erschwert, da hierfür am Arbeitsplatz selbst meist kein ausreichender Platz vorhanden ist. Des Weiteren muss beim Design der Untersuchung die sehr heterogene Berufsgruppe beachtet werden. So sollte beispielsweise gerade für zukünftige Entwicklungen im Bereich von neuen Interaktions- und Visualisierungsformen bereits in einer sehr frühen Phase der Anforderungsanalyse auf eine möglichst interaktive Darstellungsform geachtet werden, um das visionäre Denken der Teilnehmer anzuregen. Im Rahmen der Arbeit werden die Technologien anhand von Bildmaterial diskutiert, was zunächst in Bezug auf einen möglichen Einsatz in der Leitwarte von den Experten zurückhaltend aufgenommen worden ist. Während der Untersuchungen in den jeweiligen *Design Cases* mit den interaktiven Prototypen zeigt sich jedoch ein anderes Bild der Nutzerakzeptanz. Somit hängt ein großer Teil der Ergebnisse über die mögliche potenzielle Nutzbarkeit der revolutionären Technologien von den eingesetzten Stimulationsmaterialien ab.

Auch gilt es zu bedenken, dass durch langjährige Berufserfahrung revolutionäres Denken schwerer fällt – Verbesserungsvorschläge von Seiten der Teilnehmer sollten daher stets vor diesem Hintergrund betrachtet werden. So wird zusätzlich der mögliche Einsatz von neuen Interaktionstechnologien mit Usability-Experten aus dem Leitwartenkontext diskutiert. Prozesswissen seitens des Forschers verbessert das direkte Kommunizieren mit Operatoren und ermöglicht es dem Befragten, konstruktiver und aktiver am Gespräch teilzunehmen.

Bei den Untersuchungsergebnissen, die im Rahmen der Nutzungskontextanalysen abgeleitet werden, gilt es zu beachten, dass außer in den Verkehrsleitzentralen (drei Leitwarten) und den Kraftwerken (zwei Leitwarten) jeweils nur eine Leitwarte (Energieverteilung, Flugsicherung, Logistik im Briefzentrum und Einsatzüberwachung der Feuerwehr) vor Ort analysiert wird. Daher gibt es grundlegenden Bedarf, weitere Analysen in Produktions- und Informationsprozessen zu erstellen, um die Validität zu stärken.

Zukünftig sind weitere wissenschaftliche Nutzungskontextanalysen mit echten Nutzern über einen längeren Zeitraum notwendig, um vor allem das Verhalten von Operatoren im Umgang mit der Benutzungsschnittstelle in kritischen Prozesssituationen zu beleuchten. Hierbei liegt die große Herausforderung darin, dass beispielsweise sehr kritische anormale Betriebsituationen wie Störfälle aufgrund der geringen Auftrittswahrscheinlichkeit nur schwer erfragt werden können. Durch alternative Untersuchungsmethoden wie die Simulation von Störfällen im Labor wird der authentische Nutzungskontext einer Leitwarte verfälscht. Aus diesem Grund müssen nachfolgend Untersuchungen in Leitwarten vor Ort stattfinden.

Antwort auf Forschungsfrage (F1)

Lassen sich aus den Beobachtungen domänenübergreifende Aufgaben und Arbeitsabläufe ableiten und gegebenenfalls entsprechende Optimierungspotenziale identifizieren?

Die Ergebnisse sowohl der Untersuchung in Produktions- und Informationsprozessen als auch die Diskussion mit Operatoren in den Experteninterviews haben gezeigt, dass in Bezug auf die dezidierten Arbeitsschritte und die physische Arbeitsumgebung mit Ein- und Ausgabegeräten häufig Gemeinsamkeiten erkennbar sind. So können für die Primärtätigkeiten in alltäglichen Prozesssituationen in Bezug auf die Interaktion domänenübergreifende Anforderungen abgeleitet werden. Auch bezüglich der Optimierungspotenziale zeigt sich deutlich über alle Domänen hinweg, dass bei Überwachungs-, Diagnose-, Manipulations- und Dokumentationstätigkeiten weder der Operator mit seinen physischen und kognitiven Fähigkeiten sowie seinem sozialen Umfeld noch der situative Arbeitskontext und die heutige Arbeitsumgebung ausreichend berücksichtigt werden. Hierbei findet die Interaktion und Kommunikation zum einen in der realen Welt und zum anderen über die digitale Welt statt. Ein nahtloser Übergang bzw. eine sinnvolle Vermischung oder Ergänzung der beiden Welten bleibt dem Operator in der heutigen Leitwarte verwehrt.

7.3 Reflexion – Blended Interaction als Gestaltungsansatz

In den folgenden Abschnitten wird die *Blended Interaction* vorgestellt, die maßgeblich die Konzepte des *Holistic Workspace* motiviert. Der neuartige Ansatz zur ganzheitlichen Gestaltung von interaktiven Räumen wird dabei bezüglich des Einsatzes in Leitwarten reflektiert. Im zweiten Teil der Reflexion werden die Anwendungsmöglichkeiten in exemplarischen *Design Cases* und der damit verbundene mögliche Paradigmenwechsel hin zu neuen Interaktionsformen diskutiert. Abschließend wird erläutert, inwieweit die exemplarisch gestalteten *Design Cases* auf andere Domänen übertragen werden können.

7.3.1 Analyse

In der Evolution von Benutzungsschnittstellen in der Leitwarte lassen sich unterschiedliche Interaktionsparadigmen identifizieren, die ein gegensätzliches Verhältnis der Dimensionen *Power* und *Reality* (Jacob et al., 2007) aufweisen. Mit Blick auf die Evolution und die damit verbundene Änderung der Prozessführung zeigt sich, dass die jeweiligen Epochen individuelle Vorteile aufweisen. Während einige dieser Bedürfnisse in früheren Leitwartengenerationen bereits realisiert worden sind, sind in Bezug auf die Mensch-Maschine-Schnittstelle durch die Evolution wertvolle multimodale Interaktionsqualitäten verloren gegangen. Zu diesen Qualitäten gehört neben der nonverbalen Koordination auch ein direkter Prozessbezug durch die reichhaltigen sensorischen Informationen.

Aktuell ist die digitale Prozessführung durch einen hohen Automatisierungs- und Virtualisierungsgrad geprägt. Die Prozessinteraktion findet mit Desktop-Systemen indirekt über Maus und Tastatur statt. Mensch-Maschine-Schnittstellen dieser Art nutzen nur einzelne Sinneskanäle, vernachlässigen dadurch die kognitiven und physischen Fähigkeiten der Operatoren und deren Vorwissen über die reale Welt. Es zeigt sich daher der Bedarf an Interaktionsformen, die die Operatoren hinsichtlich ihrer sinnlich-körperlichen Wahrnehmungsmöglichkeiten unterstützen. Aus diesem Grund werden auf Basis der Kognitionswissenschaften neue Ansätze berücksichtigt, die sich an der realen Welt orientieren, um die technischen Prozesse physisch nachvollziehbarer zu steuern. Post-WIMP-Benutzungsschnittstellen ermöglichen Interaktionsformen der realen Welt, entsprechen in dieser Hinsicht den Paradigmen der früheren Prozessführung und nutzen gleichzeitig die Vorteile der digitalen Welt in Form von Rechenleistung.

Die unterschiedlichen Ansätze wie die Prinzipien der *Reality-based Interaction* (Jacob et al., 2007, 2008), *How Bodies Matter: Five Themes for Interaction Design* (Klemmer et al., 2006) und das *Conceptual Blending* (Fauconnier & Turner, 2002; Imaz & Benyon, 2007) nehmen Bezug auf den Trend, das Vorwissen und die natürlichen Fähigkeiten zu unterstützen. Die *Embodied Interaction* (Dourish, 2001) kann als theoretischer Rahmen angesehen werden, den Operator mit seinen physischen und kognitiven Fähigkeiten sowie dem sozialen Umfeld in der Leitwarte zu betrachten. Somit müssen die menschlichen Eigenschaften bei der Gestaltung von Benutzungsschnittstellen beachtet werden, um eine neue Dimension an Interaktionsqualität zwischen Mensch und Maschine zu schaffen. Dabei gilt es, mit den Potenzialen der neuen Interaktionsparadigmen das *subjektivierende* Arbeitshandeln zu fördern, um das praktische Erfahrungswissen der Operatoren als wesentliche Eigenschaft einzubeziehen.

Ein allumfassender Ansatz mit einer ganzheitlichen Sichtweise für die Gestaltung interaktiver Benutzungsschnittstellen wird im konzeptionellen Designframework *Blended Interaction* (Jetter et al., 2012, 2013) beschrieben, das auf den Post-WIMP-Ansätzen basiert. Mit dem Ziel, eine ganzheitliche Arbeitsumgebung für den Operator zu schaffen, bietet das Rahmenmodell der *Blended Interaction* mit den vier Domänen *persönliche Interaktion*, *soziale Interaktion*, *Workflow* und *physische Arbeitsumgebung* eine Leitlinie im Designprozess. Bei der Gestaltung einer holistischen Arbeitsumgebung zeigen sich die Domänen für Leitwarten als gleichermaßen relevant. Das konzeptionelle Werkzeug *Conceptual Blending* bietet Orientierungshilfe bei der Gestaltung von *Design Tradeoffs* zur Vermischung von realen und digitalen Eigenschaften. Der Ansatz schafft ein Bewusstsein, das bei der Gestaltung realitätsbasierter Interaktions- und Visualisierungskonzepte hilft. Hierbei gilt es allerdings zu beachten, dass das Werkzeug nicht als *Kochrezept* angewendet werden kann, denn es ist erforderlich, bei der Ausgestaltung der Konzepte auch auf Kompromisse (*Design Tradeoffs*) einzugehen, um den Anforderungen in Bezug auf die Nutzerinteraktion gerecht zu werden.

Antwort auf Forschungsfrage (F2)

Wie lassen sich erlernte und evolutionsbedingte Interaktionsformen des Menschen mit den Potenzialen der digitalen Welt sinnvoll kombinieren und in der Leitwarte anwenden?

Durch eine ganzheitliche Berücksichtigung der Fähigkeiten des Menschen kann bei der Mensch-Maschine-Interaktion eine neuartige Qualität erlangt werden. Die *Reality-based Interaction* zeigt auf, weshalb die kognitiven, sozialen sowie physischen Fähigkeiten bei der Interaktion mit Benutzungsschnittstellen gleichermaßen bedeutend sind. Eine essenzielle Rolle spielt hierbei die Verwendung wohlbedachter *Design Tradeoffs* zwischen der vertrauten *realen Welt* und der *digitalen Informationsverarbeitung*. Als analytisches Werkzeug für die nutzerzentrierte Ausarbeitung von *Design Tradeoffs* wird das *Conceptual Blending* empfohlen, um diese Anforderungen in der Benutzungsschnittstelle umzusetzen. Um den umfassenden Anforderungen im Kontext von Leitwarten gerecht zu werden, wird das konzeptionelle Designframework *Blended Interaction* vorgeschlagen.

Für sicherheitskritische Systeme ist eine umfassende Betrachtung der Arbeitsumgebung von Operatoren zwingend erforderlich. Hierbei gibt die Betrachtung der Interaktion aus unterschiedlichen Perspektiven, und zwar (1) *persönliche Interaktion*, (2) *soziale Interaktion*, (3) *Workflow* und (4) *physische Arbeitsumgebung* wertvolle Hilfestellung. *Blended Interaction* verhilft bereits in frühen Designphasen die Arbeitsumgebung in Leitwarten holistisch zu betrachten. Zusammenfassend ist für die Gestaltung nutzerzentrierter Konzepte die Berücksichtigung menschlichen Vorwissens, der Fähigkeiten und der spezifischen Designanforderungen im Leitwartenkontext die Grundlage. Motiviert durch die *Blended Interaction* entstehen so *Design Tradeoffs*, die eine wohlbedachte Vermischung realer und digitaler Eigenschaften beinhalten.

7.3.2 Design

Anhand der *Design Cases* aus den Bereichen der Verkehrsüberwachung und der Energiegewinnung wird gezeigt, wie durch die Verwendung der *Blended Interaction* auf die Bedürfnisse und die Fähigkeiten der Operatoren abgestimmte Interaktions- und Visualisierungskonzepte gestaltet werden können. Die Konzepte zeigen auf, wie Operatoren bei der Erfüllung typischer Primärtätigkeiten effektiver unterstützt werden können. Den Operatoren wird eine Arbeitsumgebung geschaffen, die es ihnen ermöglicht, soziale, physische und kognitive Fähigkeiten sowie Erfahrungen aus der realen Welt in die Interaktion einzubringen. Die große Herausforderung liegt darin, die *Design Tradeoffs* so zu gestalten, dass eine Verschmelzung der bewährten Möglichkeiten der realen Welt mit denen der digitalen Welt erlangt werden kann. Im Folgenden werden die erarbeiteten Konzepte, gegliedert in *Public Space* und *Private Space*, diskutiert.

Public Space

Im ersten *Design Case* für die Überwachung und Diagnose auf entfernten Wanddisplays (*Public Space*) wird ein Interaktions- und Visualisierungskonzept anhand eines Beispielszenarios aus der Verkehrsleitwarte vorgestellt, das dazu dient, die Operatoren bei der Navigation und durch die Verfügbarkeit von kontextsensitiven Informationen in der Prozessübersicht zu unterstützen. Für die passiven beobachtenden Tätigkeiten wird im Hinblick auf die Ergonomie ein vertikales Wanddisplay verwendet, das von den Operatoren bequem eingesehen werden kann. Neben der persönlichen Interaktion wird die soziale Interaktion und Kommunikation in Anlehnung an die Gestaltungsebenen der *Blended Interaction* besonders berücksichtigt. Dabei wird der Forderung nachgegangen, dem Operator die Möglichkeit zu bieten, sich schnellstmöglich die erforderlichen Informationen zusammenstellen zu können, um ein klares Bild der Lage zu bekommen, ohne dabei zwischen unterschiedlichen Displayebenen wechseln zu müssen. Die Nutzungskontextanalyse zeigt auf, dass die Operatoren bei alltäglichen Prozesssituationen in den Informationsräumen nicht genügend Unterstützung finden. Aus diesem Grund wird eine *inhaltssensitive Navigation* gemeinsam mit dem *SpaceNavigator* entwickelt, die die Interaktion an die Anforderungen der Operatoren anpasst. Durch die *physische Affordance* (vgl. Dourish, 2001; Klemmer et al., 2006) des selbstzentrierenden isometrischen Eingabegeräts (*SpaceNavigator*) ist eine Blindbedienung möglich, und im Gegensatz zur Maus ist keine genaue Positionierung des Zeigegeräts durch den Operator notwendig, da, kombiniert mit der *inhaltssensitiven Navigation*, inexacte Eingaben ausgeglichen werden. Motiviert durch das *Conceptual Blending*, werden Interaktionsformen entworfen, die sich die vom Menschen erlernten Richtungs-codes aus der realen Welt zunutze machen. So geben die Studienteilnehmer in ihrer subjektiven Bewertung an, dass durch Kipp- und Navigationsrichtung des *SpaceNavigators* ein realweltliches Mapping durch den selbsterklärenden Richtungscode stattfindet (vgl. *Naïve Physics* nach Jacob et al., 2008). Durch die *inhaltssensitive Navigation* werden Detailinformationen automatisch abgerufen, wenn vom Operator eine Verbindung zur Kante hergestellt wird. So kann im exemplarischen Szenario der Verkehrsleitzentrale der Seitenstreifen sehr effizient freigegeben werden, da alle verfügbaren Kamerabilder entlang der Straße jeweils der Reihe nach eingeblendet werden.

Neben der Unterstützung von Navigationstechniken für entfernte Displays werden zusätzlich zwei unterschiedliche Visualisierungskonzepte: Overview+Detail- (*Split Screen*) und Focus+Context-Darstellung (*HML*) entwickelt. Im Rahmen der Vorstudie zeigt sich, dass die Probanden die *HML*-Darstellung präferieren. Bei der *Split Screen*-Darstellung haben die Teilnehmer große Probleme, die Detailinformationen mit dem Kontext in Beziehung zu setzen. Die *HML-View* wird eindeutig bevorzugt, da die wichtigen Detailinformationen für Diagnostiktätigkeiten direkt im Kontext angezeigt und mit der Zoomstufe der persönliche Detailgrad bestimmt werden kann. Deshalb wird für die Mehrbenutzerumgebung in *Design Case I* das Focus+Context-Entwurfsmuster eingesetzt, das Detailinformationen direkt in die Übersicht integriert, um in alltäglichen Prozesssituationen die stö-

renden Blickwechsel (*Split Attention*) zwischen dem Übersichtsdisplay (*Public Space*) und dem Detaildisplay (*Private Space*) zu verhindern. Zur Unterstützung der nonverbalen Kommunikation und wegen der langen Betrachtungszeiten in alltäglichen Prozesssituationen wird ein vertikal ausgerichtetes Wanddisplay eingesetzt. Für den manuellen Prozesseingriff wird ein horizontal ausgerichtetes Interactive Tabletop bevorzugt, da die direkte Manipulation von Prozessvariablen, bezogen auf die Armhaltung, komfortabler ist. In der Expertenbeurteilung wird bestätigt, dass die vertikale Ausrichtung des Displays für langwierige Überwachungstätigkeiten essenziell ist. Um die nonverbale Kommunikation im Sinne einer sozialen Interaktion zwischen den Operatoren zu fördern (vgl. *Social Awareness & Skills* nach Jacob et al., 2008), wird ein Visualisierungskonzept umgesetzt, das die Qualitäten früherer Leitwarten zurückbringt. Auf dem *Public Space* muss in der gemeinsam genutzten Prozessvisualisierung ein Verständnis über den Prozesszustand im Sinne der *Shared Situation Awareness* (Endsley, 1995) vermittelt werden. Im Bereich der Manipulation werden Konzepte geschaffen, die eine Synchronisation der Detailansicht zur Verfügung stellen. Dadurch werden die Workflows unterstützt, da ein effektiver Zugriff auf die zu manipulierenden Prozessvariablen möglich ist. Zur Förderung der persönlichen Interaktion wird im Konzept auf die *inhaltssensitive Navigation* zurückgegriffen. Hierbei bestätigen die Expertenaussagen die Überlegenheit von *freier* und *inhaltssensitiver Navigation* kombiniert mit dem *SpaceNavigator* gegenüber den vorherrschenden Interaktionsmodalitäten mit Maus und Tastatur. Aufgrund der positiven Rückmeldung aus der Vorstudie wird die *HML-View* in die Mehrbenutzerumgebung übernommen, da die Linse multifokale Darstellungsformen unterstützt. Zusätzlich wird ein Konzept nach dem realweltlichen Vorbild eines gefalteten Blatts Papier (*Folding-View*) gestaltet, um die Verzerrung in der Faltung des Informationsraums verständlicher darzustellen. Durch die digitale Faltung wird mehr Raum für die Fokusregionen geschaffen, die somit mehr Platz für Kontextinformationen bereitstellen. Für die Koordination unter den Operatoren ist gerade die implizite Form der Kommunikation wichtig, was durch die Sichtbarkeit und flexible Positionierung der Fokuspunkte zu jedem Operator in den entwickelten Multifokus-Views berücksichtigt wurde.

In der Expertenbeurteilung zeigt sich, dass die *HML-View* im direkten Vergleich zur *Folding-View* für das ausgearbeitete Szenario im Verkehrsüberwachungskontext bevorzugt wird. Gerade wenn zwei Operatoren die Fokuspunkte mit Hilfe des *SpaceNavigators* verschieben, wirkt die Prozessübersicht aufgrund der Verschiebung der Falten unruhig. Die Experten geben jedoch an, dass die gestaltete Ansicht auf Basis der realweltlichen Metapher große Potenziale für die Überwachung von mehreren kritischen Prozessabschnitten auf dem großen Wanddisplay hat. Nach Aussagen der Experten vermeiden beide Konzepte die störenden Blickwechsel zwischen den unterschiedlichen Displayebenen der Überwachung und Manipulation und wirken somit der Problematik des Übersichts-Detail-Paradoxons entgegen. Von den Experten wird kritisch geäußert, dass die *Circles* zur Kenntlichmachung der Prozessabweichungen nur auf dem Wanddisplay angezeigt werden. Dabei wird bemängelt, dass die Probanden beim Blick auf die Manipulationsebene die Störungen nicht wahrnehmen können. Aus diesem Grund werden dreidimensionale *Domes* auf Basis der *Circles* entwickelt und auf den *Private Space* übertragen.

Die implizite Kommunikation und das damit verbundene Situationsbewusstsein werden nach der subjektiven Einschätzung der Experten durch die gestalteten Multifokus-Views gefördert. Zwar geben die Experten in ihren subjektiven Einschätzungen positive Rückmeldungen, jedoch muss im Zuge weiterer Forschungsaktivitäten analysiert werden, inwiefern die entwickelten Konzepte die Qualität der Zusammenarbeit unter den Operatoren tatsächlich unterstützen. Ferner werden in der exemplarischen Umsetzung aus Gründen der Kontrollierbarkeit des Versuchs nur zwei Operatorarbeitsplätze simuliert. Werden die Ergebnisse der Nutzungskontextanalyse betrachtet, so können bis zu acht Personen am Prozess beteiligt sein. Um die Anwendbarkeit der Konzepte zu überprüfen, ist es unabdingbar, eine Arbeitsumgebung mit mehreren Operatorarbeitsplätzen aufzubauen.

Auch die *HML-View* bietet deutliche Optimierungspotenziale im Hinblick auf die Verzerrungsalgorithmen. Hierbei muss zunächst untersucht werden, wie unterschiedliche Distanzmetriken eingesetzt werden können, um so bei Annäherung der einzelnen Linsen den Eindruck zu verschaffen, dass die Linsen ineinander übergehen. Weiterhin besteht Forschungsbedarf dahingehend, wie die Inhalte der Multifokus-View personalisiert werden können. Denn in der Zusammenarbeit bei Problemlösetätigkeiten müssen meist zusätzliche individuelle Aufgaben vom Operator übernommen werden. Somit wird während der Bearbeitung von kooperativen und kollaborativen Aufgaben häufig zwischen individueller und gemeinsamer Arbeit (*Mixed-Focus Collaboration*) gewechselt. In diesem Zusammenhang bietet die *HML-View* enorme Vorteile, da innerhalb der Linse Informationen für jeden Operator explizit angepasst werden können.

Private Space

In *Design Case II* wird die physische Arbeitsumgebung entscheidend den Tätigkeiten der Operatoren angepasst, indem ein gebogenes interaktives Display (*Curve*) zur Darstellung von Prozessinformationen eingesetzt wird. Durch die Anpassung der physischen Arbeitsumgebung ergeben sich neue Möglichkeiten für die Darstellung von Prozessinformationen. Hierbei wird auf Basis der Anforderungen die nahtlose Integration einer Overview+Detail-Ansicht über die Displayebenen hinweg für den *Private Space* fortgeführt. Auf dem horizontalen Displaybereich wird aus der Vogelperspektive die Prozessübersicht dargestellt. Zusätzlich wird der Operator durch eine perspektivische Erweiterung der Prozessvisualisierung, die nahtlos in den Kurvenbereich integriert wird, bei Überwachungs- und Diagnosetätigkeiten unterstützt. Diese ragt virtuell in den horizontalen Displaybereich hinein. Durch die virtuelle Erweiterung wird die Möglichkeit eröffnet, bei gleichem Displayplatz auf der horizontalen Ebene eine erheblich größere Fläche der Übersichtskarte darzustellen. Gleichzeitig wird die Visualisierung realitätsnäher, da die Fortführung der Prozessübersicht vom Operator aus in das Display (Z-Achse) hineinragt. Aus ergonomischen Gesichtspunkten wird das Konzept so umgesetzt, dass die textuellen Detailinformationen mit Fokus auf Lesetätigkeiten auf dem vertikalen Displaybereich platziert werden. Dagegen werden die Arbeitsschritte mit hohem Interaktionsbedarf wie die Suche nach der Problemursache im Kartenausschnitt auf dem horizontalen Anzeigebereich dargestellt, um so den Operator durch eine bequemere Armhaltung zu entlasten. Die direkten Interaktionsformen wie das Verschieben, um einen markanten Knotenpunkt (z. B. U-Bahnstation) näher zu betrachten, ermöglichen den aus der realen Welt gewohnten Umgang mit Lageplänen. Dabei können aber zusätzlich Eigenschaften aus der digitalen Welt wie das Zooming herangezogen werden, um die Suche effizienter zu gestalten.

Die Anpassung der Displayform an die Tätigkeiten wird im Rahmen der experimentellen Benutzerstudie positiv bewertet. Zum einen ist die Visualisierung für die Probanden verständlich, und zum anderen ermöglicht das Konzept in der Dimension der persönlichen Interaktion zugleich eine schnelle Navigation zu neuralgischen Punkten. Im direkten Vergleich mit einer Darstellung ohne perspektivische Erweiterung (*Kontrollbedingung 2D*) können deutliche Unterschiede durch die aufgezeichneten Interaktionstrajektorien identifiziert werden. In der *2D*-Darstellung orientieren sich die Probanden beim Auffinden der Problemursache wesentlich stärker am Netzplan als in der Variante mit der perspektivischen Erweiterung. Auf Basis der Rückmeldung aus *Design Case I* durch die Studienteilnehmer werden die *Circles*, die ausschließlich auf dem Wanddisplay dargestellt werden, auch auf dem Display direkt am Arbeitsplatz integriert. Die an die *Circles* angelehnten dreidimensionalen *Domes* werden von den Studienteilnehmern durchweg positiv bewertet. Auch das gestaltete Head-Up-Display stellt sich durch die eingeblendeten Zusatzinformationen als probates Hilfsmittel für die Orientierung heraus. Die Probanden geben an, die wichtigsten Informationen an ergonomisch günstiger Position stets im Blick zu haben.

Im Rahmen von zukünftigen Forschungsarbeiten sollte ein Head-Tracking-System eingebunden werden, um die perspektivische Anpassung je nach Kopfposition, die im Konzept der vorliegenden Arbeit manuell erfolgt, automatisiert umzusetzen. Außerdem könnte die automatisierte Erfassung des Blickwinkels wie bei der Drehung des Kopfs eine Erweiterung der perspektivischen Darstellung in Richtung des Blickfelds andeuten. Somit würde das Übersichtsbild ohne manuellen Eingriff durch den Operator erweitert werden. Ferner gilt es zu untersuchen, wie die perspektivische Verzerrung, die derzeit nur für einen Operator optimiert wird, weiterentwickelt werden kann, so dass sich nach Möglichkeit auch zwei Operatoren die Ansicht teilen können.

Die Manipulationsebene bietet neue Perspektiven, die Manipulation von Prozessvariablen an den Grundsätzen der *Reality-based Interaction* zu orientieren, um die verlorengegangenen haptischen Qualitäten früherer Leitwarten zurückzugewinnen. Durch das physische Eingabegerät in *Design Case I* ist die Selektion für einen bestimmten Fokus durch die Lage des *SpaceNavigators* stets für jeden Operator sichtbar. Zwar geben die Experten in ihren subjektiven Einschätzungen an, dass die physische Beschaffenheit des Eingabegeräts und die damit verbundene Position ein Bewusstsein für die aktuelle Zuordnung zwischen der Fokusregion schaffen. Der tatsächliche Einfluss bezüglich der Zuordnung muss jedoch in weiteren Forschungsaktivitäten empirisch untersucht werden. Der Ansatz einer integrierten Meldungsliste auf der Manipulationsebene zwischen den Arbeitsplätzen unterstützt die soziale Interaktion und Kommunikation nach Aussagen der Experten, da er den Operatoren erlaubt, einen Überblick darüber zu bekommen, welche Meldung gerade bearbeitet wird oder welche Aufgabe neu zugeteilt werden muss. Um die Anwendbarkeit des Konzepts im Bereich des Meldungsmanagements zu überprüfen, ist eine umfassende Evaluation unter realen Bedingungen erforderlich. Der Einsatz eines Interactive Tabletop als Manipulationsebene wird von den Experten positiv bewertet, was sich bereits in der Technologiebewertung im Rahmen der Nutzungskontextanalyse abzeichnet. Obwohl nur ein kleiner Funktionsumfang umgesetzt wird, sehen die Operatoren gute Einsatzmöglichkeiten für diese Interaktionsform in zukünftigen Leitwarten.

Frühere Leitwarten zeichnen sich durch multimodale Benutzungsschnittstellen und entsprechende motorische und sensorische Bedienqualitäten wie Bedienwiderstände und Einrastgeräusche aus (vgl. *Naïve Physics* nach Jacob et al., 2008). Im Gegensatz hierzu gestattet die digitale Leitwarte schnelle und präzise Prozesseingriffe. Die physische Erfahrbarkeit kann einen starken Prozessbezug herstellen. Weiterhin ist das schnelle und informierte Eingreifen bei anomalen Betriebszuständen essenziell. Mit der Zielsetzung in *Design Case III*, den manuellen Eingriff von Prozessvariablen begreifbar umzusetzen, werden die realitätsbasierten Konzepte (*Direct-Touch-Manipulation* und *Tangible-Object-Manipulation*) mit Hilfe des *Blended Interaction* Frameworks gestaltet. Diese werden anhand der *Design Tradeoffs* der *Reality-based Interaction* gebildet. Die Operatoren bedienen sich der Eigenschaften und Merkmale realweltlicher Objekte und können dadurch angeborene und erlernte Fähigkeiten anwenden. So ist beispielsweise eine Blindbedienung dank haptischem Feedback von TUIs möglich. Die visuelle Aufmerksamkeit des Operators kann auf einen anderen Fokus im Prozessbild gerichtet werden.

Neben den realitätsbasierten Konzepten für das Dreh- und Schiebereglerelement werden im Rahmen einer Studie die in Leitwarten vorherrschenden Eingabegeräte Maus und Tastatur verglichen. Die Ergebnisse der experimentellen Benutzerstudie zeigen kürzere *Einstellzeiten* bei der Eingabe numerischer Werte per Tastatur. Dahingegen können sich die Probanden bei der Manipulation mit dem haptischen Stellteil in der kontextbezogenen Studie besser an ihre getätigten Arbeitshandlungen erinnern. Das zeigt, dass die Teilnehmer die physischen Kontrollelemente durch ihre Beschaffenheit und deren assoziierte Funktionsweise mit den Prozesselementen leichter in einen Zusammenhang bringen können. Somit können Konzepte, die die (be)greifbare Interaktion möglich machen, dem Operator helfen, sich ein adäquates Bild des Prozesszustands herzuleiten. Zwar bringen die Studienergebnisse keine Eingabemodalität hervor, die bezüglich der Merkmale *Einstelldauer* und

Einprägbarkeit besser abschneidet. Jedoch kann eine Koexistenz der realitätsbasierten Konzepte (Tangible) in Verbindung mit den vorherrschenden Eingabegeräten in Betracht gezogen werden. Somit könnten in normalen Betriebssituationen, die Bedienhandlungen in denen die *Einstelldauer* weniger bedeutsam ist, mit haptischen Stellteilen erfolgen. Ist jedoch ein schneller Prozesseingriff situativ erforderlich, so könnte dies mit Tastatur und Maus geschehen. Dadurch würde der Operator selbst bei traditionellen Eingabegeräten von den vorausgegangenen Eingriffen mittels Tangibles durch die informierten Bedienhandlungen profitieren.

Die Studie belegt, dass Konzepte, die die (be)greifbare Interaktion möglich machen, den Menschen dabei unterstützen, Prozesseingriffe und das dazu benötigte Bild des Prozesszustands angemessen herzuleiten. Die entwickelten Konzepte können auf das in *Design Case II* verwendete gebogene interaktive Display angewendet werden. Jedoch gilt es prinzipiell zu beachten, dass die horizontale Anzeigefläche für gestaltete Tangibles vorgesehen ist. Auf Basis der Forschungsarbeiten von Hennecke et al. (2012) wird zur Stabilisierung der Tangibles dieselbe Adhäsionsfolie verwendet, die auch im Projekt *Vertibles* benutzt worden ist. Das ermöglicht prinzipiell aufgrund des Vakuummaterials das Anbringen von Tangibles auch auf dem vertikalen Anzeigebereich. Der tatsächliche Einsatz bedarf aber einer weiteren Untersuchung in Bezug auf die tatsächliche Haftfähigkeit der Tangibles. Das ist durch die unterschiedliche Bauweise der Tangibles im Vergleich zum Projekt *Vertibles* begründet.

Mit Blick auf die kooperativen und kollaborativen Szenarien in alltäglichen Leitwartensituationen müssen weitere Forschungsaktivitäten im Hinblick auf die soziale Interaktion direkt am Arbeitsplatz (*Public Space*) des Operators diskutiert werden. Das eingesetzte Interactive Tabletop und die TUIs sind prädestiniert, um die Kollaboration innerhalb eines Teams (*Co-located Collaboration*) zu unterstützen (Ishii & Ullmer, 1997). Jedoch bedarf der Einsatz eines Interactive Tabletops aus ergonomischen Gesichtspunkten weiterer Analysen. Hierbei müssen vornehmlich die Langzeitauswirkungen von Faktoren wie Form, Größe und Ausrichtung erforscht werden.

In *Design Case IV* wird auf Basis der Erkenntnisse aus der Nutzungskontextanalyse ein hybrides Dokumentationswerkzeug geschaffen, das, begründet durch das *Conceptual Blending*, die realen und digitalen Eigenschaften am Beispiel eines Schichtbuchs und der Kontrollgangprotokolle aufzeigt. Die analogen Schichtbücher, die in der direkten Arbeitsumgebung liegen, zeichnen sich sowohl durch ihre physische Beschaffenheit als auch durch die einfache und schnelle Anfertigung von handschriftlichen Aufzeichnungen aus. Die realen Artefakte wie Schichtbücher, Protokolle, Notizen usw. haben Vorteile, die in der digitalen Welt nicht abbildbar sind. So ermöglicht beispielsweise das physische Schichtbuch beim natürlichen Lesen nicht nur das Verwenden des visuellen Kanals, durch die haptischen Qualitäten kann sich der Operator darin auch besser orientieren, z. B. bei einem Vermerk irgendwo in der Mitte des Buchs. Darüber hinaus wird während der Schichtübergaben beobachtet, dass die Übergabe des Schichtbuchs eine bewusste Handlung zwischen den Operatoren ist (vgl. *Body Awareness & Skills* nach Jacob et al., 2008). Das bietet vor allem einen Mehrwert für die persönliche und soziale Interaktion. Der große Nachteil von handschriftlichen Aufzeichnungen liegt jedoch im hohen Aufwand der Weiterverarbeitung des Niedergeschriebenen. Somit müssen in einem gesonderten Arbeitsgang diese rein handschriftlichen Eingaben in die digitale Welt transformiert werden. Außerdem liegen Schichtbücher, Protokolle, Notizen oder sonstige Dokumente jeweils nur als einzelnes Exemplar vor. Im Gegensatz dazu bietet das digitale Schichtbuch den Vorteil, dass durch Ablage von Aufzeichnungen in Datenbanken sehr große Mengen an Informationen verwaltet werden können und ein effizienter Zugang ermöglicht wird. Dabei kann gezielt nach bestimmten Sachverhalten gesucht werden. Um die analogen und digitalen Qualitäten gleichermaßen zu bedienen, wird in der vorliegenden Arbeit ein Digitalstift zusammen mit analogem Papier eingesetzt, um handschriftliche Eingaben auszuführen. Durch den Einsatz der Digital-Pen & Paper-Technologie ist sowohl eine analoge als auch eine digitale Version der Artefakte

vorhanden. Diese Form der Erfassung von Ereignissen unterschiedlichster Art bewahrt die gewohnte Möglichkeit der Erstellung von Dokumenten. Trotz der Erfassung per Handschrift wird sowohl eine Filterung, Sortierung, Sicherung als auch eine Verbindung mit anderen Medientypen oder digitalen Elementen zugelassen. Durch die Digitalisierung von Schrift in Echtzeit wird nicht nur die persönliche Interaktion unterstützt, sondern auch zusätzlich die soziale Interaktion gefördert, da die Aufzeichnungen unmittelbar auch anderen Personen zur Verfügung gestellt werden können. Gerade bei Schichtübergaben können die beschriebenen Konzepte mittels Digital-Pen & Paper-Technologie durch ihre Ortsungebundenheit in der Leitwarte entweder nur auf Papier oder hybrid an jedem Display, um die Einträge direkt in der Prozessübersicht nachvollziehen zu können, umgesetzt werden. In einer Befragung von Experten wird gezeigt, dass die gestalteten Interaktions- und Visualisierungskonzepte in Verbindung mit der Digital-Pen & Paper-Technologie große Potenziale eröffnen. Besonders positiv hervorgehoben wird, dass die Operatoren so ihre bisherige Vorgehensweise beibehalten, d. h., dass sie handschriftliche Aufzeichnungen auf natürliche Art und Weise weiterhin einsetzen können und dabei die Möglichkeit haben, die digitalisierte Annotation zum Prozess direkt in der digitalen Prozessübersicht zu platzieren.

Antwort auf die Forschungsfragen (F3) und (F4)

Wie lassen sich nutzerzentrierte Interaktions- und Visualisierungskonzepte sowohl für die Überwachungs- und Diagnosetätigkeiten als auch für Manipulations- und Dokumentationstätigkeiten unter Berücksichtigung aktueller Trends der MCI gestalten?

Auf Basis des Frameworks *Blended Interaction* werden exemplarisch Konzepte in zwei Domänen – der Verkehrsüberwachung und der Energiegewinnung – umgesetzt. Die neu geschaffene Arbeitsumgebung bringt die kognitiven, physischen und sozialen Fähigkeiten sowie die realweltlichen Erfahrungen in die Interaktion mit ein. Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass der ganzheitliche Gestaltungsansatz bereits während des Designprozesses von interaktiven Benutzungsschnittstellen im Leitwartenkontext die Kreativität fördert und den Blickwinkel dahingehend erweitert, den Menschen mit seinen physischen, sozialen und kognitiven Fähigkeiten als Ganzes zu betrachten.

Jedoch gilt es zu beachten, dass die vorgestellten *Design Cases* den Einsatz der *Blended Interaction* nur exemplarisch darstellen und deren tatsächliche Eignung noch im Rahmen realistischer Einsätze überprüft werden müsste. Hierbei reichen einzelne unabhängige Prototypen nicht aus, vielmehr ist es notwendig, eine vollständige Arbeitsumgebung spezifisch auf ein Leitwartenszenario auszugestalten. Das erfordert den Aufbau einer ganzheitlichen Demoleitwarte mit mindestens zwei Arbeitsplätzen (*Shared Situation Awareness*), um die Interaktions- und Visualisierungskonzepte mit Operatoren umfassend prüfen zu können. Maßgeblich dabei ist, dass realistische Aufgaben mit domänenspezifischen Echtdateen simuliert werden. Dabei müssen die Konzepte mit Methoden aus dem Bereich der Langzeitevaluation im direkten Arbeitskontext über einen hinreichenden Zeitraum geprüft werden. Die Untersuchung muss so gestaltet sein, dass der Operator nicht isoliert als einzelne Person betrachtet wird, sondern auch die Kooperations- und Kollaborationsstrukturen der am Prozess beteiligten Personen relevant sind.

7.3.3 Übertragbarkeit der Ergebnisse

In der Nutzungskontextanalyse können domänenübergreifende Arbeitsabläufe und auch Optimierungspotenziale für den *Public Space* und *Private Space* identifiziert werden, und das, obwohl der *funktionale Zweck* der technischen Prozesse über die Leitwarten hinweg domänenspezifisch ist. Die exemplarisch ausgestalteten Konzepte in den unterschiedlichen *Design Cases* für die Überwachung, Diagnose, Manipulation und Dokumentation im Umfeld der Verkehrsüberwachung (Straßen und U-Bahn) und der Energiegewinnung (Kohle) und die daran anschließende Evaluation haben ge-

zeigt, dass die *Blended Interaction* als Rahmenmodell für die ganzheitliche Gestaltung von realitätsbasierten Benutzungsschnittstellen den Zugang zur komplexen Prozessführung erleichtern kann. Dabei gilt es allerdings beim Entwurf von Benutzungsschnittstellen in sicherheitskritischen Systemen zu beachten, dass die *Blended Interaction* nicht einfach als konkrete Handlungs- oder Gestaltungsanweisung zum Design von interaktiven Systemen angesehen werden kann. Das neue Interaktionsparadigma bietet dem Designer zum einen durch die vier Gestaltungsebenen einen methodischen Rahmen und zum anderen durch den Vorschlag, sich an der *Reality-based Interaction* und dem *Conceptual Blending* auszurichten, eine konzeptionelle Orientierung, um das Vermischen von Eigenschaften der realen und digitalen Welt zu motivieren. Die Gestaltungsanforderungen werden anhand des *Holistic Workspace* (siehe Kapitel 4) generisch beschrieben, um die Konzepte durchgängig auf die anderen untersuchten Domänen aus den Produktions- und Informationsprozessen zu übertragen.

Im Folgenden wird diskutiert, inwiefern die entwickelten Konzepte auf andere Domänen adaptiert werden können. An dieser Stelle wird nochmals darauf hingewiesen, dass es sich im Rahmen der Diskussion der Konzeptübertragung um eine Bewertung handelt, die nicht empirisch abgesichert ist.

Eine Anpassung der physischen Arbeitsumgebung mit Wanddisplay (*Public Space*) und vertikal gebogenem interaktiven Display für die direkte Arbeitsumgebung (*Private Space*) ist auf Basis der Anforderungen domänenübergreifend umsetzbar. Dabei wird für den Operator sowohl eine visuelle Kontinuität der Prozessdarstellung durch die nahtlose Zusammenführung der horizontalen und vertikalen Anzeigefläche im *Private Space* als auch ein fließender Übergang zum großen Wanddisplay geschaffen. Die *freie Navigation* in Verbindung mit dem *SpaceNavigator* kann in allen untersuchten Leitwarten eingesetzt werden, wenn es erforderlich ist, vom *Public Space* ein entferntes Wanddisplay zu steuern. Grundsätzlich kann die entwickelte *inhaltssensitive Navigation* über alle Domänen hinweg angewendet werden, jedoch scheint der Einsatz vor allem in der Netzleitstelle, der Leitwarte zur Kohleförderung, der Verkehrsleitzentrale und der Leitwarte im Briefzentrum vielversprechend zu sein. Denn in diesen Domänen sind die kontextspezifischen Detailinformationen, die direkt an der Kante liegen, wie die Stromlast oder das Verkehrsaufkommen enorm wichtig. Werden die *HML*- und *Folding-View* losgelöst von der *inhaltssensitiven Navigation* betrachtet, können beide Visualisierungskonzepte domänenspezifisch eingesetzt werden, da es sich in den Produktions- und Informationsprozessen immer um große Informationsräume handelt, in denen sich mehrere Operatoren die Visualisierung auf dem Wanddisplay teilen.

Die perspektivische Erweiterung der Prozessvisualisierung, die auf dem *Curve* realisiert wird, kann nicht nur das exemplarische Szenario der Netzplanüberwachung im Kontext der U-Bahn verbessern, sondern eröffnet auch die Möglichkeit, alle Domänen mit großen Informationsräumen sinnvoll zu unterstützen. Dabei können neben dem Übersichtsbild, das auf der horizontalen Anzeigefläche dargestellt wird, je nach Domäne beliebige textuelle Detailinformationen auf dem vertikalen Bereich platziert werden. Andererseits kann auch das Head-Up-Display zur Darstellung von wichtigen Informationen an allen Arbeitsplätzen einen Mehrwert bringen, da der Operator stets die wesentlichen Hinweise im Blick hat. Der Einsatz von Interactive Tabletops und die damit verbundenen Konzepte auf der Manipulationsebene haben unabhängig von den unterschiedlichen *Design Cases (I bis IV)* sehr große Zustimmung erhalten. Grund hierfür ist die intuitive Bedienform durch *Direct-Touch-Manipulation*, die die Probanden meist von ihrem Smartphone kennen. Die Interaktions- und Visualisierungskonzepte für manuelle Prozesseingriffe, um Variablen direkt zu manipulieren, werden stark an den realen physikalischen Größen wie beispielsweise Druck und Durchfluss orientiert, um die sinnlich-körperliche Wahrnehmung zu fördern. So werden virtuelle Kontrollelemente sowie haptisch erfahrbare Stellteile wie beispielsweise Dreh- und Schieberegler in der Energiegewinnung umgesetzt. Um die menschliche Wahrnehmung und Informationsaufnahme zu unterstützen, wird eine starke Assoziation der Stellteiltypen zu den jeweiligen Prozessvariablen abgeleitet. Im

Falle des Drehreglers werden die Durchlassgröße, z. B. Speisewasser und Kühlwasser, und im Falle des Schiebereglers die Fördermenge von Kohle umgesetzt. Die Anforderung, einen direkten Prozessbezug durch Interaktions- und Visualisierungskonzepte herzustellen, kann nur optimal erfüllt werden, wenn sich die Bedienmerkmale der Kontrollelemente an den physischen Qualitäten des technischen Prozesses orientieren. Aus diesem Grund muss der *funktionale Zweck* des technischen Prozesses analysiert werden, um entsprechende realitätsbasierte Stellteiltypen ableiten zu können. So ist ein domänenübergreifender Einsatz der Konzepte nicht zielführend, diese müssen immer individuell auf die Prozessvariablen abgestimmt sein. Werden beispielsweise die Energiegewinnung und die integrierte Leitzentrale der Feuerwehr verglichen, so muss in einem Fall der Druck im Kessel reguliert und im anderen müssen die Betriebsmittel koordiniert werden. Die metaphorische Visualisierung der Prozessvariablen und die Bedienform sind für die beiden Beispiele bei einem realweltlichen Gestaltungsansatz völlig unterschiedlich. Hier helfen innerhalb der *Blended Interaction* die *Reality-based Interaction* und das konzeptionelle Werkzeug *Conceptual Blending* bei der Ideengenerierung, um sowohl metaphorische Visualisierungen als auch Bedienformen zu gestalten. Überall in Leitwarten, in denen Notizen, Protokolle (z. B. Kontrollgangprotokoll) und Schichtbücher vom Operator angefertigt werden, können die Konzepte im Zusammenhang mit der Digital-Pen & Paper-Technologie eingesetzt werden. Hierzu bedarf es lediglich einer individuellen Anpassung der Formulare.

Antwort auf Forschungsfrage (F5)

Inwieweit lassen sich die aktuellen Trends der MCI, die die evolutionsbedingten Interaktionsformen des Menschen mit den Potenzialen der digitalen Welt kombinieren, im Kontext der Gestaltung von Benutzungsschnittstellen von Leitwarten anwenden, und sind diese domänenübergreifend einsetzbar?

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelten Interaktions- sowie die Visualisierungskonzepte zeigen mögliche Potenziale auf, diese auch auf andere Domänen im Bereich von Produktions- und Informationsprozessen zu übertragen. Die Erkenntnisse aus der Nutzungskontextanalyse bestätigen, dass in den untersuchten Domänen sowohl identische Arbeitsabläufe als auch Verbesserungspotenziale identifiziert werden. Dabei weisen die Domänen zahlreiche Überschneidungen auf, was auf ähnliche Charakteristika bei der Steuerung und Überwachung von sicherheitskritischen Systemen schließen lässt. Die Grundformen der entwickelten Konzepte, die in der Arbeit beschrieben werden, können auf andere Domänen übertragen werden. Jedoch können nur gültige Aussagen aufgrund der Komplexität bei der Gestaltung von Benutzungsschnittstellen im Kontext der Leitwarte getroffen werden, wenn Experten einen konkreten Anwendungskontext beurteilen. Um eine Expertenbeurteilung in der jeweiligen Leitwartendomäne sicherstellen zu können, müssen die Konzepte auf den konkreten Anwendungskontext angepasst werden. Somit muss in weiteren Forschungsarbeiten die Fragestellung beantwortet werden, inwieweit die vorgeschlagenen Konzepte in weiteren Leitwartendomänen angewendet werden können. Um Aussagen treffen zu können, bedarf es empirischer Untersuchungen.

Obwohl die realitätsbasierten Benutzungsschnittstellen in der Regel sehr positiv bewertet werden, stellen sich berechnete Fragen in Bezug auf die Gefahren beim Einsatz zur Steuerung von sicherheitskritischen Systemen. Die Vision vom *Holistic Workspace* stellt ein Beispiel dar, wie zukünftig die Arbeitsabläufe von Operatoren in alltäglichen Prozesssituationen unterstützt werden können. Seine Tauglichkeit muss aber im realen Feldeinsatz noch bewiesen werden. Abschließend gilt es festzuhalten, dass die Post-WIMP-Interaktionsparadigmen neue Möglichkeiten und Herausforderungen für Forschungsaktivitäten eröffnen, um die Operatoren stärker zu entlasten.

7.4 Ausblick

Wie in der Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse beschrieben, eröffnen weitere Anwendungsszenarien in unterschiedlichen Domänen die Möglichkeit, die in der vorliegenden Arbeit erstellten Interaktions- und Visualisierungskonzepte zu nutzen. Neben der Überprüfung des Einsatzes in neuen Szenarien müssen in einem nächsten Schritt die einzelnen unabhängigen Prototypen der *Design Cases* in einer holistischen Arbeitsumgebung zusammengefasst werden. Zusätzlich können in Form von neuen Endgeräten und darauf abgestimmten Interaktions- und Visualisierungskonzepten neue Nutzungsszenarien in die Arbeitsumgebung integriert werden (siehe Abbildung 151a). Ein zentraler Planungstisch könnte die soziale Interaktion unter den Operatoren unterstützen (siehe Abbildung 151b). Darüber hinaus kann durch den Einsatz von mobilen Endgeräten die persönliche Interaktion gefördert werden (siehe Abbildung 151c).

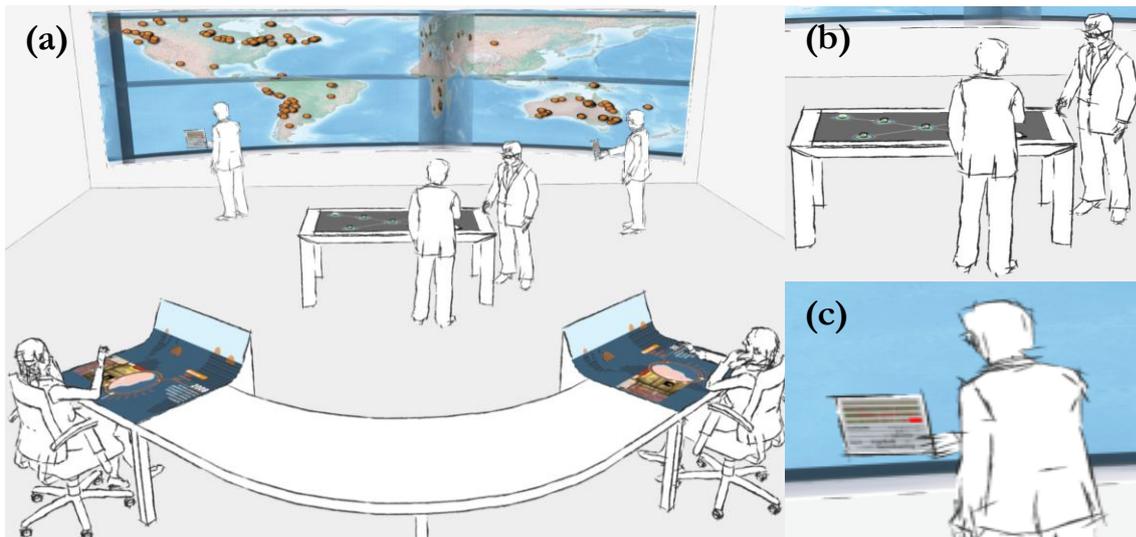


Abbildung 151 Erweiterung der Vision des Holistic Workspace

(a) Die schematische Darstellung zeigt eine Vision der ganzheitlichen Leitwarte von morgen. (b) Am Lagetisch können beispielsweise Krisensituationen beraten werden oder Schichtübergaben stattfinden. (c) Mobile Endgeräte ermöglichen dem Operator eine räumliche Flexibilität, da er die Informationen mitnehmen kann.

In den Interviews wird die Integration eines Interactive Tabletop in der Leitwarte als zentraler Gruppenarbeitsplatz immer wieder von den Experten angesprochen. Hierbei sehen die Experten großes Potenzial in einer Art Planungstisch für Situationen, in denen ein gemeinsames Arbeiten notwendig ist wie Schichtübergaben. Interactive Tabletops werden zwar in einigen Projekten (vgl. Hurlen et al., 2012; Nebe et al., 2011; Selim & Maurer, 2010) im Leitwartenkontext eingesetzt, es bedarf aber weiterer Untersuchungen in Bezug auf die nahtlose Integration in die gesamte Arbeitsumgebung. Ferner muss der Einsatz von Planungstischen als Gruppenarbeitsplatz erforscht werden, da die interaktiven Displays eine gleichberechtigte Form der Interaktion unterstützen. Die Operatoren haben die Möglichkeit, simultan zu interagieren, was gewohnte soziale Konventionen unmittelbar berücksichtigt. Hierbei sind Konzepte denkbar, die die Operatoren beim Herantreten an das Interactive Tabletop erkennen und neben dem gemeinsamen auch persönliche Arbeitsbereiche automatisch bereitstellen (vgl. Klinkhammer, Tennie, Erdoes & Reiterer, 2013). Durch einen persönlich (z. B. Vorbereitung von Dokumenten) und öffentlich (z. B. Präsentation von Ergebnissen) gekoppelten Arbeitsbereich kann die Zusammenarbeit effizienter gestaltet werden.

Darüber hinaus kann durch die Verwendung von mobilen Endgeräten wie Tablet-Computern die räumliche Flexibilität unterstützt werden, weil sich die Operatoren auch während der Schicht vom

Arbeitsplatz entfernen können. So kann beispielsweise der Workflow durch den Einsatz eines mobilen Geräts gefördert werden, indem wichtige Meldungen auf dem Tablet dargestellt werden. Die Operatoren können sich im Rahmen von Lagebesprechungen am Interactive Tabletop oder am Wanddisplay zusätzlich individuelle Detailinformationen anzeigen lassen. Neben der reinen Visualisierung von Informationen ist es auch denkbar, das Tablet als indirektes Interaktionsgerät analog dem Touchpad am Notebook oder dem *Adaptive Pointing* nach König, Gerken, Dierdorf und Reiterer (2009) einzusetzen. Das *Adaptive Pointing*-Konzept ist speziell zur verbesserten Interaktion auf großen Wanddisplays mit absoluten Zeigegeräten entwickelt worden. Hier kann in Verbindung mit dem Tablet eine Möglichkeit geschaffen werden, auch große Wanddisplays *remote* zu steuern. So könnte während der Schichtübergaben ein dynamischer Wechsel zwischen Visualisierung und Steuerung des Wanddisplays durch das Tablet erfolgen. Der Operator ist dadurch flexibel, da er sich im Raum bewegen kann, ohne ein zusätzliches Interaktionsgerät zu benötigen.

Die multimodale Interaktion beinhaltet den Einsatz einer reichhaltigen Interaktion, um sowohl die Sinnesorgane als auch die körperlichen Fähigkeiten ganzheitlich einzubeziehen. So kann der Mensch neben dem Tastsinn mit seinen sensorischen Fähigkeiten noch stärker in die Interaktion einbezogen werden. Hierbei besteht im Kontext der Leitwarte weiterer Forschungsbedarf. Durch akustische Hinweise kann der Operator beispielsweise näher in den Prozesskontext versetzt werden, indem charakteristische Geräusche direkt vom technischen Prozess in die Arbeitsumgebung übermittelt werden. Die Herausforderung besteht darin, bei mehreren Arbeitsplätzen die akustischen Signale auf einen einzelnen Operator zu richten, um die Teammitglieder bei ihren Tätigkeiten nicht zu stören. Darüber hinaus muss auch die Möglichkeit bestehen, alle Operatoren gleichzeitig in der Leitwarte zu erreichen.

Das Forschungsprojekt *future user Interfaces for control centers (fusInc)* von Fuhrmann und Kaiser (2014) beschäftigt sich mit der Fragestellung, wie im Kontext einer Verkehrsüberwachungsleitwarte die akustischen Informationen auf einen Operator gerichtet werden können. Um diese Frage zu beantworten, wird ein Demoleitstand mit der Simulation von Echtzeitdaten aufgebaut. Die Übertragung des kontextsensitiven akustischen Signals erfolgt über gerichtete Lautsprecher, die ähnlich wie Soundduschen die Audioinformation gezielt übertragen. Die akustischen Signale folgen der Bewegung des Operators und sorgen somit für eine optimale Verständlichkeit der Audioinformation. Gleichzeitig werden andere Operatoren bei ihrer Arbeit nicht gestört. Zusätzlich wird ein Interaktionskonzept für das Wanddisplay und den Bildschirm direkt am Arbeitsplatz entwickelt. Für die Steuerung des Displays im *Private Space* wird eine Art Touchpad in die Armlehne des Stuhls am Operatorarbeitsplatz integriert. Der Stuhl selbst wird mit einem Schwingelement ausgestattet, das dem Operator taktile Rückmeldung während der Interaktion gibt. Das Wanddisplay (*Public Space*) wird durch Gesteninteraktion im Raum gesteuert. Hierzu gibt es aber weiterhin Forschungsbedarf, um die Gesten in Hinblick auf eine mögliche Fehlauflösung von Funktionen zu optimieren. Denn es gilt beispielsweise zu beachten, dass gerade bei der Zusammenarbeit meist die Hände in die Kommunikation einbezogen werden.

Die große Herausforderung, die zukünftigen Konzepte als auch Technologien in die Arbeitsschritte zu integrieren, besteht darin, dem Operator einen dynamischen Wechsel der realen und digitalen Artefakte nahtlos zu ermöglichen. Hier wird der Operator unterstützt, wenn die bewährten Möglichkeiten der realen Welt mit denen der digitalen Welt nutzerzentriert kombiniert werden.

Literatur

- Abowd, G. D., & Mynatt, E. D. (2000). Charting Past, Present, and Future Research in Ubiquitous Computing. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI) - Special Issue on Human-Computer Interaction in the New Millennium*, 7(1), 29–58.
- Ahlberg, C., & Shneiderman, B. (1994). The Alphslider: A Compact and Rapid Selector. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems Celebrating Interdependence - CHI '94* (pp. 365–371). New York: ACM Press.
- Ahlström, D., Hitz, M., & Leitner, G. (2006). An Evaluation of Sticky and Force Enhanced Targets in Multi Target Situations. In *Proceedings of Nordic Conference on Human Computer Interaction - NordiCHI '06* (pp. 58–67). New York: ACM.
- Aumayr, G., & Trittinger, D. (1992). Elemente moderner Benutzeroberflächen zur Führung elektrischer Netze. *ETZ*, 5(113), 289–294.
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of Automation. *Automatica (Journal of IFAC)*, 19(6), 775–779.
- Bainbridge, L. (1997). The Change in Concepts Needed to Account for Human Behavior in Complex Dynamic Tasks. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 27(3), 351–359.
- Bangor, A., Kortum, P., & Miller, J. (2009). Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. *Journal of Usability Studies*, 4(3), 114–123.
- Baudisch, P., Good, N., Bellotti, V., & Schraedley, P. (2002). Keeping Things in Context: A Comparative Evaluation of Focus Plus Context Screens, Overviews, and Zooming. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems Changing our World, Changing ourselves - CHI '02* (pp. 259–266). New York: ACM Press.
- Baudisch, P., Good, N., & Stewart, P. (2001). Focus Plus Context Screens: Combining Display Technology with Visualization Techniques. In *Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology - UIST '01* (pp. 31–40). ACM Press.
- Baudisch, P., & Rosenholtz, R. (2003). Halo: A Technique for Visualizing Off-Screen Locations. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '03* (pp. 481–488). New York, New York, USA: ACM Press.
- Beaudoin, L., Parent, M.-A., & Vroomen, L. C. (1996). Cheops: A Compact Explorer for Complex Hierarchies. In *Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization - InfoVis '96* (pp. 87–92). Los Alamitos: IEEE Computer Society Press.
- Bellotti, V., Back, M., Edwards, W. K., Grinter, R. E., Henderson, A., & Lopes, C. (2002). Making Sense of Sensing Systems. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems Changing our World, Changing ourselves - CHI '02* (pp. 415–422). New York: ACM Press.
- Benford, S., Gaver, B., Boucher, A., Walker, B., Pennington, S., Schmidt, A., ... Pridmore, T. (2005). Expected, Sensed, and Desired: A Framework for Designing Sensing-Based Interaction. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 12(1), 3–30.

- Benko, H., Morris, M. R., Brush, A. J. B., & Wilson, A. D. (2009). *Insights on Interactive Tabletops: A Survey of Researchers and Developers*. Citeseer.
- Beyer, H., & Holtzblatt, K. (1997). *Contextual Design: Defining Customer-Centered Systems (Interactive Technologies)* (1st ed.). San Francisco: Morgan Kaufmann.
- Bi, X., Bae, S.-H., & Balakrishnan, R. (2010). Effects of Interior Bezels of Tiled-Monitor Large Displays on Visual Search, Tunnel Steering, and Target Selection. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '10* (pp. 65–74). New York: ACM Press.
- Bier, E. A., Stone, M. C., Pier, K., Buxton, W., & DeRose, T. D. (1993). Toolglass and Magic Lenses: The See-Through Interface. In *Proceedings of the Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques - SIGGRAPH '93* (pp. 73–80). New York: ACM Press.
- Böhle, F., Bolte, A., Neumer, J., Pfeiffer, S., Porschen, S., Ritter, T., ... Wühr, D. (2011). Subjektivierendes Arbeitshandeln: „Nice to have“ oder ein gesellschaftskritischer Blick auf „das Andere“ der Verwertung? *Arbeits-, Industriosozilogische Studien*, 4(2), 16–26.
- Böhle, F., & Rose, H. (1992). *Technik und Erfahrung: Arbeit in hochautomatisierten Systemen*. Frankfurt am Main: Campus Verlag.
- Boldt, R., & Raasch, J. (2008). *Analysis of Current Technologies and Devices for Mobile Data Capture. A Qualitative Usability Study for Comparison of Data Capture via Keyboard, Tablet PC, Personal Digital Assistant, and Digital Pen and Paper*. Lund.
- Bowman, D., Kruijff, E., LaViola, J., & Poupyrev, I. (2004). *3D User Interfaces: Theory and Practice*. Redwood City: Addison Wesley.
- Brehmer, B. (1991). Some Notes on the Literature. In J. Rasmussen, B. Brehmer, & J. Lapiat (Eds.), *Distributed Decision Making: Cognitive Models for Cooperative Work* (pp. 3–14). New York: Wiley & Sons.
- Brooke, J. (1996). SUS: A Quick and Dirty Usability Scale. In P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, & A. L. McClelland (Eds.), *Usability Evaluation in Industry* (pp. 189–194). London: Taylor and Francis.
- Bubb, H. (2003). Fahrerassistenz primär ein Beitrag zum Komfort oder für die Sicherheit? In *Der Fahrer im 21. Jahrhundert. Anforderungen, Anwendungen, Aspekte für Mensch-Maschine-Systeme (VDI-Berichte 1768)* (S. 25–44). Düsseldorf: VDI Verlag.
- Butscher, S. (2012). *Entwicklung eines Visualisierungs- und Interaktionskonzepts für die Überwachung und Diagnose im Leitwartenkontext*. Masterarbeit, Universität Konstanz.
- Butscher, S., Schwarz, T., Müller, J., & Reiterer, H. (2011). Monitoring of processes and manipulation of process variables in the context of a multi-user setting in a traffic control room. In *Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter Conference - HFSE '11 (Poster Session)*. Leeds.
- Bützler, J., Vetter, S., Jochems, N., & Schlick, C. (2010). Ergonomische Bewertung von Körperhaltung, Greifräumen und Komfort bei der Arbeit mit großflächigen berührungssensitiven Bildschirmen. In *Neue Arbeits- und Lebenswelten gestalten, 56. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft* (S. 823–826). Dortmund: GfA-Press.

- Byers, J. C., Bittner, A. C., & Hill, S. G. (1989). Traditional and raw Task Load Index (TLX) correlations: Are paired comparisons necessary? In *Advances in Industrial Ergonomics & Safety* (pp. 481–485). Washington D. C.: Taylor & Francis.
- Chang, D., Dooley, L., & Tuovinen, J. E. (2002). Gestalt Theory in Visual Screen Design – A New Look at an Old Subject. In *Proceedings of the World Conference on Computers in Education - WCCE '02* (pp. 5–12). Copenhagen: Australian Computer Society.
- Charwat, H. J. (1994). *Lexikon der Mensch-Maschine-Kommunikation*. München: Oldenbourg Verlag.
- Cockburn, A., Karlson, A., & Bederson, B. B. (2008). A Review of Overview+Detail, Zooming, and Focus+Context Interfaces. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 41(1), 1–31.
- Crampton-Smith, G. (1995). The Hand that Rocks the Cradle. *ID Magazine*, 60–65.
- Dourish, P. (2001). *Where The Action Is: The Foundations of Embodied Interaction*. MIT Press.
- Dutke, S. (1994). *Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens. Kognitionspsychologische Grundlagen für die Software-Ergonomie*. Göttingen: Verlag für Angewandte Psychologie.
- Ellis, C. A., Gibbs, S. J., & Rein, G. (1991). Groupware: Some Issues and Experiences. *Communications of the ACM*, 34(1), 39–58.
- Elmqvist, N., Henry, N., Riche, Y., & Fekete, J.-D. (2008). Mélange: Space Folding for Multi-Focus Interaction. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '08* (pp. 1333–1342). New York: ACM Press.
- Elmqvist, N., Riche, Y., Henry-Riche, N., & Fekete, J.-D. (2010). Mélange: Space Folding for Visual Exploration. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 16(3), 468–483.
- Elzer P., & Beuthel C. (1998). Dreidimensionale Prozessvisualisierung zur Führung technischer Anlagen. In *VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik. GMA-Kongress '98 Mess- und Automatisierungstechnik – Neue Entwicklungen, Technologien, Anwendungen* (S. 803–810). Düsseldorf: VDI Verlag.
- Endsley, M. (1995). Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *The Journal of the Human Factors*, 37(1), 32–64.
- Endsley, M. R., Bolte, B., & Jones, D. G. (2003). *Designing for Situation Awareness: An Approach to User-Centered Design*. London: Taylor & Francis.
- Endsley, M. R., & Kaber, D. B. (1999). Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. *Ergonomics*, 42(3), 462–92.
- Endsley, M. R., Parasuraman, R., & Mouloua, M. (1996). Automation and Situation Awareness. In *Automation and Human Performance: Theory and Applications* (pp. 163–181). New York: Lawrence Erlbaum.
- Fauconnier, G., & Turner, M. (2002). *The Way We Think: Conceptual Blending and the Mind's Hidden Complexities*. New York: Basic Books.
- Feiner, S., Macintyre, B., & Seligmann, D. (1993). Knowledge-based Augmented Reality. *Communications of the ACM - Special Issue on Computer Augmented Environments: Back to the Real World*, 36(7), 53–62.

- Fitzmaurice, G. W., Ishii, H., & Buxton, W. A. S. (1995). Bricks: Laying the Foundations for Grasable User Interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '95* (pp. 442–449). New York: ACM Press.
- Francone, J., & Nigay, L. (2011). Using the User's Point of View for Interaction on Mobile Devices. In *Proceedings of the Conference on Human-Computer Interaction - IHM '11* (pp. 25–31). New York: ACM Press.
- Fuhrmann, F., & Kaiser, R. (2014). Multimodal Interaction for Future Control Centers: An Interactive Demonstrator. In *Proceedings of the International Conference on Multimodal Interaction - ICMI '14* (pp. 66–67). New York: ACM Press.
- Fuks, H., Raposo, A. B., Gerosa, M. A., & Lucena, C. J. P. (2005). Applying the 3C Model to Groupware Development. *International Journal of Cooperative Information Systems (IJCIS)*, 14(n.2-3), 299–328.
- Furnas, G. W. (1986). Generalized Fisheye Views. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '86* (pp. 16–23). New York: ACM Press.
- Furnas, G. W., & Bederson, B. B. (1995). Space-Scale Diagrams: Understanding Multiscale Interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '95* (pp. 234–241). New York: ACM Press.
- Geisler, J., & Stiefelhagen, R. (2010). Eröffnung des Smart Control Room Labors: Forschen mit dem Smart Control Room. *Mensch-Maschine-Systeme: Wissenschaftliches Kolloquium, Fraunhofer IITB*, 81–82.
- Geyer, F., Pfeil, U., Höchtl, A., Budzinski, J., & Reiterer, H. (2011). Designing Reality-Based Interfaces for Creative Group Work. In *Proceedings of the ACM Conference on Creativity and Cognition - C&C '11* (pp. 165–174). New York: ACM Press.
- Gibbs, C. B. (1962). Controller Design: Interactions of Controlling Limbs, Time-Lags and Gains in Positional and Velocity Systems. *Ergonomics*, 5(2), 385–402.
- Gibbs, R. W. (2005). *Embodiment and Cognitive Science*. New York: Cambridge University Press.
- Grams, T. (1998). Bedienfelder und ihre Ursachen. *atp – Automatisierungstechnische Praxis*, 2, 55–60.
- Gross, T., & Koch, M. (2007). *Computer-Supported Cooperative Work*. München: Oldenbourg.
- Gutwin, C., & Skopik, A. (2003). Fisheye Views are Good for Large Steering Tasks. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '03* (pp. 201–208). New York: ACM Press.
- Hancock, M., Nacenta, M., Gutwin, C., & Carpendale, S. (2009). The Effects of Changing Projection Geometry on the Interpretation of 3D Orientation on Tabletop. In *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces - ITS '09* (pp. 157–164). New York: ACM Press.
- Hannß, F., Lapczynya, E., & Groh, R. (2012). BILD – RAUM – LEIB Definitionsversuche eines subjektbezogenen Interaktionsraums. In *Workshop HyperKult XXI Computer als Medium*. Lüneburg.
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index: Results of Empirical and Theoretical Research). *Advances in Psychology*, 52, 139–183.

- Hasebrook, J. (1995). *Multimedia-Psychologie: Eine neue Perspektive menschlicher Kommunikation* (1. Ed.). Heideberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Helfferrich, C. (2005). *Die Qualität qualitativer Daten – Manual für die Durchführung qualitativer Interviews* (4. Ed.). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, Springer Fachmedien.
- Hennecke, F., Wimmer, R., Vodicka, E., & Butz, A. (2012). Vertibles: Using Vacuum Self-Adhesion to Create a Tangible User Interface for Arbitrary Interactive Surfaces. In *Proceedings of the International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction - TEI '12* (pp. 303–306). New York: ACM Press.
- Herczeg, M. (2002). Intention-Based Supervisory Control-Kooperative Mensch-Maschine-Kommunikation in der Prozessführung. In *Situation Awareness in der Fahrzeug- und Prozessführung, DGLR-Bericht 2002-04. Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt* (S. 29–42). Bonn.
- Herczeg, M. (2004). Interaktions- und Kommunikationsversagen in Mensch-Maschine-Systemen als Analyse- und Modellierungskonzept zur Verbesserung sicherheitskritischer Technologien. In *Verlässlichkeit der Mensch-Maschine-Interaktion, DGLR-Bericht 2004-043. Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt* (S. 73–86). Bonn.
- Herczeg, M. (2007). *Einführung in die Medieninformatik*. München: Oldenbourg Verlag.
- Herczeg, M. (2008). Vom Werkzeug zum Medium: Mensch-Maschine-Paradigmen in der Prozessführung. In *Beiträge der Ergonomie zur Mensch-System-Integration, DGLR-Bericht 2008-04. Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt* (S. 1–12). Bonn.
- Herczeg, M. (2014). *Prozessführungssysteme: Sicherheitskritische Mensch-Maschine-Systeme und interaktive Medien zur Überwachung und Steuerung von Prozessen in Echtzeit*. München: de Gruyter, Oldenbourg.
- Heuer, J. (2002). *Mentale Modelle komplexer Prozesse – Möglichkeiten zur Qualifikationsförderung und -erhaltung in Prozessleitwarten durch Simulation und Hypertext-Handbücher*. Dissertation, Universität Kassel.
- Hollnagel, E. (1998). *Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)*. Oxford: Elsevier Science.
- Hornbæk, K., Bederson, B. B., & Plaisant, C. (2002). Navigation Patterns and Usability of Zoomable User Interfaces with and without an Overview. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 9(4), 362–389.
- Hornecker, E. (1997). Die Wiederentdeckung des Subjekts in der Arbeit – Gestaltung von Arbeit für Subjekte. *FIFF - Kommunikation*, 28–30.
- Hornecker, E. (2004). *Tangible user interfaces als kooperationsunterstützendes Medium*. Dissertation, Universität Bremen.
- Hornecker, E. (2008). Die Rückkehr des Sensorischen: Tangible Interfaces und Tangible Interaction. In *Mensch-Computer-Interface: Zur Geschichte und Zukunft der Computerbedienung* (S. 235–256). Bielefeld: Transcript Verlag.

- Hurlen, L., Petkov, B., Veland, Ø., & Andresen, G. (2012). Collaboration Surfaces for Outage Control Centers. In *Workshop Designing Collaborative Interactive Spaces (DCIS). International Working Conference on Advanced Visual Interfaces - AVI '12*. New York: ACM Press.
- Hurtienne, J., & Israel, J. H. (2007). Image Schemas and Their Metaphorical Extensions – Intuitive Patterns for Tangible Interaction. In *Proceedings of the International Conference on Tangible and Embedded Interaction - TEI '07* (pp. 127–134). New York: ACM Press.
- Igarashi, T., & Hinckley, K. (2000). Speed-dependent Automatic Zooming for Browsing Large Documents. In *Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology UIST '00* (pp. 139–148). New York: ACM Press.
- Imaz, M., & Benyon, D. (2007). *Designing with Blends: Conceptual Foundations of Human-Computer Interaction and Software Engineering*. Cambridge: MIT Press.
- Ishak, E. W., & Feiner, S. K. (2006). Content-Aware Scrolling. In *Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology - UIST '06* (pp. 155–158). New York: ACM Press.
- Ishii, H. (2008). Tangible Bits: Beyond Pixels. In *Proceedings of the International Conference on Tangible and Embedded Interaction - TEI '08* (pp. xv–xxv). New York: ACM Press.
- Ishii, H., & Ullmer, B. (1997). Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces Between People, Bits and Atoms. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '97* (pp. 234–241). New York: ACM Press.
- Jacob, R. J. K., Girouard, A., Hirshfield, L. M., Horn, M. S., Shaer, O., Solovey, E. T., & Zigelbaum, J. (2007). Reality-Based Interaction: Unifying the New Generation of Interaction Styles. In *Extended Abstracts of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '07* (pp. 2465–2470). New York: ACM Press.
- Jacob, R. J. K., Girouard, A., Hirshfield, L. M., Horn, M. S., Shaer, O., Solovey, E. T., & Zigelbaum, J. (2008). Reality-Based Interaction: A Framework for Post-WIMP Interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '08* (pp. 201–210). New York: ACM Press.
- Jakobson, G., & Weissman, M. (1993). Alarm Correlation – Correlating multiple network alarms improves telecommunications network surveillance and fault management. *IEEE Network*, 52–60.
- Jetter, H.-C., Geyer, F., Schwarz, T., & Reiterer, H. (2012). Blended Interaction – Toward a Framework for the Design of Interactive Spaces. In *Workshop Designing Collaborative Interactive Spaces (DCIS). International Working Conference on Advanced Visual Interfaces - AVI '12*. New York: ACM Press.
- Jetter, H.-C., Reiterer, H., & Geyer, F. (2013). Blended Interaction: understanding natural human-computer interaction in post-WIMP interactive spaces. *Personal and Ubiquitous Computing*, 18(5), 1139–1158.
- Johannsen, G. (1993). *Mensch-Maschine-Systeme*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Johannsen, G. (2008). Überwachung, Entscheidung und Supervisory Control in Mensch-Maschine-Systemen. In L. Schmidt, C. M. Schlick, & J. Grosche (Eds.), *Ergonomie und Mensch-Maschine-Systeme* (S. 51–66). Springer Verlag.

- Johansen, R. (1988). *GroupWare: Computer Support for Business Teams*. New York: The Free Press.
- Johansson, S. (2012). Considering Context: Integrative Design of Graphical User Interfaces. In *Proceedings of the Scandinavian Student Interaction Design Research Conference - SIDeR '12*. Göteborg.
- Johansson, S., Gokce Bor, A., Kreiser, K., & McLellan, S. (2012). *Cooperative Environment*. Umeå.
- Johnson, J. A. (1995). A Comparison of User Interfaces for Panning on a Touch-Controlled Display. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '95* (pp. 218–225). New York: ACM Press.
- Keim, D. A. (2002). Datenvisualisierung und Data Mining. *Datenbank Spektrum*, 2, 30–39.
- Kieras, D., & Bovair, S. (1984). The Role of a Mental Model in Learning to Operate a Device. *Cognitive Science*, 8(3), 255–273.
- Kim, S., & Dey, A. K. (2009). Simulated Augmented Reality Windshield Display as a Cognitive Mapping Aid for Elder Driver Navigation. In *Proceedings of the SIGCHI International Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '09* (pp. 133–142). New York: ACM Press.
- Kirk, D., Sellen, A., Taylor, S., Villar, N., & Izadi, S. (2009). Putting the Physical into the Digital: Issues in Designing Hybrid Interactive Surfaces. In *Proceedings of the British HCI Group Annual Conference on People and Computers: Celebrating People and Technology - BCS-HCI '09* (pp. 35–44). British Computer Society.
- Klemmer, S. R., Hartmann, B., & Takayama, L. (2006). How Bodies Matter: Five Themes for Interaction Design. In *Proceedings of the ACM Conference on Designing Interactive Systems - DIS '06* (pp. 140–149). New York: ACM Press.
- Klinkhammer, D., Tennie, J. O., Erdoes, P., & Reiterer, H. (2013). Body Panning – A Movement-based Navigation Technique for Large Interactive Surfaces. In *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces - ITS '13* (pp. 37–40). New York: ACM Press.
- Klostermann, A. (2011). *Trainings in Mensch-Maschine-Systemen – Strategien zur Unterstützung des Erwerbs mentaler Kausalmodelle*. Dissertation, Universität Berlin.
- Klump, R., Schooley, D., & Overbye, T. (2002). An Advanced Visualization Platform for Real-Time Power System Operations. In *Proceedings of the Power Systems Computation Conference (PSCC)*. New York: Curran Associates.
- Kobayashi, K., Kakizaki, T., Narita, A., Hirano, M., & Kase, I. (2007). Tangible User Interface for Supporting Disaster Education. In *Proceedings of the Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (Poster) - SIGGRAPH '07*. New York: ACM Press.
- Koch, M. (2008). Lehren aus der Vergangenheit – Computer-Supported Collaborative Work & Co. In W. Buhse & S. Stamer (Eds.), *Die Kunst, loszulassen – Enterprise 2.0* (S. 37–58). Berlin: RHOMBOS.
- Komischke, T. (2000). *Identifikation branchenübergreifender Kernarbeitsabläufe in der industriellen Prozessführung und Ableitung benutzer-orientierter Gestaltungslösungen*. Dissertation, Universität Kassel.
- Komischke, T. (2003). Informationsüberflutung, Bewältigungsmechanismen und Implikationen für Prozessleitsysteme. *i-com*, 2(2), 13–20.

- König, W. A., Gerken, J., Dierdorf, S., & Reiterer, H. (2009). Adaptive Pointing – Design and Evaluation of a Precision Enhancing Technique for Absolute Pointing Devices. In *Proceedings of the International Conference on Human-Computer Interaction - INTERACT '09* (pp. 658–671). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Kuhn, T. S. (1970). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago/London (2nd ed.). Chicago: University of Chicago Press.
- Künzler, C. (2002). *Kompetenzförderliche Sicherheitskultur.: Ganzheitliche Gestaltung risikoreicher Arbeitssysteme* (1. Ed.). Zürich: vdf Hochschulverlag.
- Kurrle, H. P., Arnold, M., Sellmaier, G., & Einwanger, E. (1994). Trainingssimulator zur Ausbildung von Chemiekanten und Anlagenfahrern. *atp – Automatisierungstechnische Praxis* 36, 7, 50–56.
- Kurz, H. (2008). Alarmer und die Herausforderungen ihrer Integration in die Mensch-Prozess-Schnittstelle. In *USEWARE 2008, Verfahrens und Produktionstechnik, Engineering, Informationspräsentation und Interaktionskonzepte (VDI-Berichte 2041)* (S. 13–26). Düsseldorf: VDI Verlag.
- Lafrenz, B., Nickel, P., & Nachreiner, F. (2010). Handlungshilfe zur Erstellung von Arbeitsunterlagen für die Prozessführung. In *Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse: Forschungsergebnisse für die Praxis* (Vol. 1).
- Lauber, F. (2011). *Das Curve Display in Leitstand-Arbeitsumgebungen: Entwicklung eines Visualisierungs- und Interaktionskonzepts*. Diplomarbeit, Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Leung, Y. K., & Apperley, M. D. (1994). A Review and Taxonomy of Distortion-Oriented Presentation Techniques. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 1(2), 126–160.
- Lorenz, H. (2011). *Texturierung und Visualisierung virtueller 3D-Stadtmodelle*. Dissertation, Hasso-Plattner-Institut für Softwaresystemtechnik.
- Lorenz, H., Trapp, M., Jobst, M., & Döllner, J. (2008). Interactive Multi-Perspective Views of Virtual 3D Landscape and City Models. In *Proceedings of the AGILE International Conference on Geoinformation Science* (pp. 301–321). Springer Verlag.
- Mackinlay, J. D., Card, S. K., & Robertson, G. G. (1990). Rapid Controlled Movement Through a Virtual 3D Workspace. In *Proceedings of the Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques - SIGGRAPH '90* (pp. 171–176). New York: ACM Press.
- Mackinlay, J. D., & Heer, J. (2004). Wideband Displays: Mitigating Multiple Monitor Seams. In *Extended Abstracts of the SIGCHI Conference on Human Factors and Computing Systems - CHI '04* (pp. 1521–1524). New York: ACM Press.
- Manzey D. (1997). Psychophysiologie mentaler Beanspruchung. In F. Rösler (Ed.), *Ergebnisse und Anwendungen der Psychophysiologie. Enzyklopädie der Psychologie* (S. 799–864). Göttingen: Hogrefe.
- Manzey, D. (2008). Systemgestaltung und Automatisierung. In P. Badke-Schaub, G. Hofinger, & K. Lauche (Eds.), *Human Factors – Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen* (2. Ed., S. 333–350). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Markman, A. B. (1999). *Knowledge Representation*. New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Martin, H. (1995). *Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit (CeA). Integrierte Arbeitsgestaltung und Technikentwicklung* (1. Ed.). Berlin Heidelberg: Springer Verlag.

- Morris, M. R., Brush, A. J. B., & Meyers, B. R. (2008). A Field Study of Knowledge Workers' Use of Interactive Horizontal Displays. In *Proceedings of International Workshop on Horizontal Interactive Human Computer Systems - TABLETOP '08* (pp. 105–112). IEEE Computer Society.
- Morris, M. R., Brush, A. J. B., & Meyers, B. R. (2007). Reading Revisited: Evaluating the Usability of Digital Display Surfaces for Active Reading Tasks. In *Proceedings of the Horizontal Interactive Human Computer Systems - TABLETOP '07* (pp. 79–86). IEEE Computer Society.
- Morris, M. R., Fisher, D., & Wigdor, D. (2010). Search on Surfaces: Exploring the Potential of Interactive Tabletops for Collaborative Search Tasks. *Information Processing & Management*, 46(6), 703–717.
- Moscovich, T., Chevalier, F., Henry, N., Pietriga, E., & Fekete, J.-D. (2009). Topology-Aware Navigation in Large Networks. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '09* (pp. 2319–2328). New York: ACM Press.
- Müller, D., Linden, F. W., & Stelzner, P. (1998). Möglichkeiten zur Nutzung einer Großbildprojektion in Leitstellen der Verbundebene Elektrizitätswirtschaft. *Elektrizitätswirtschaft*, 6, 48–51.
- Müller, J. (2012). *Realitätsbasierte Formen der Interaktion für die Manipulation von Prozessvariablen im Leitwartekontext*. Masterarbeit, Universität Konstanz.
- Müller, J., Schwarz, T., Butscher, S., & Reiterer, H. (2012). Exploring former interaction qualities for tomorrow's control room design. In *Mensch & Computer 2012: interaktiv informiert – allgegenwärtig und allumfassend!?* (pp. 377–380). München: Oldenbourg Verlag.
- Müller, J., Schwarz, T., Butscher, S., & Reiterer, H. (2014). Back to Tangibility: A Post-WIMP Perspective on Control Room Design. In *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces - AVI '14* (pp. 57–64). New York: ACM Press.
- Nebe, K. (2010). *Multitouch und Be-greifbare Interaktion in der Einsatzlageplanung des Technischen Hilfswerks*. C-LAB Jahresbericht Paderborn.
- Nebe, K., Klompaker, F., Jung, H., & Fischer, H. (2011). Exploiting New Interaction Techniques for Disaster Control Management Using Multitouch-, Tangible- and Pen-Based-Interaction. In *Proceedings of the International Conference on Human-Computer Interaction: Interaction Techniques and Environments - HCI '11* (pp. 100–109). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Nigay, L., & Vernier, F. (1998). Design method of interaction techniques for large information spaces. In *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces - AVI '98* (pp. 37–46). New York: ACM Press.
- Norman, D. (1983). Some Observations on Mental Models. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 7–14). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Norman, D. (1988). *Psychology of Everyday Things*. New York: Doubleday.
- Parasuraman, R., Sheridan, T., & Wickens, C. D. (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(3), 286–298.

- Pedersen, E. W., & Hornbæk, K. (2009). mixiTUI: A Tangible Sequencer for Electronic Live Performances. In *Proceedings of the International Conference on Tangible and Embedded Interaction - TEI '09* (pp. 223–230). New York: ACM Press.
- Pedersen, E. W., & Hornbæk, K. (2011). Tangible Bots: Interaction with Active Tangibles in Tabletop Interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '11* (pp. 2975–2984). New York: ACM Press.
- Perrow, C. (1984). *Normal Accidents: Living with High-Risk Technologies*. Princeton University Press.
- Pietsch, T., & Boldt, R. (2014). *Digital Pen & Paper*. Berlin: epubli GmbH.
- Plumlee, M. D., & Ware, C. (2006). Zooming Versus Multiple Window Interfaces: Cognitive Costs of Visual Comparisons. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 13(2), 179–209.
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The Attention System of the Human Brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13(1), 25–42.
- Pramsohler, T., Pantförder, D., Vogel-Heuser, B. (2010). Analyse von Prozess- und Meldungsdaten durch die kombinierte Darstellung von 3D Diagrammen und Strukturplänen von Maschinen und Anlagen. In *USEWARE 2010, Grundlagen - Methoden - Technologien (VDI-Berichte 2099)* (S. 247–264). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Rasmussen, J. (1983). Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs, and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models. *Man and Cybernetics, IEEE Transactions*, 13(3), 257–266.
- Rasmussen, J. (1984). Strategies for State Identification and Diagnosis in Supervisory Control Tasks, and Design of Computer-Based Support Systems. *Advances in Man-Machine Systems Research*, 139–193.
- Rasmussen, J. (1986). *Information Processing and Human-Machine Interaction: An Approach to Cognitive Engineering*. New York: North-Holland.
- Rasmussen, J., Pejtersen, A. M., & Goodstein, L. P. (1994). *Cognitive Systems Engineering*. New York: John Wiley & Sons.
- Reiterer, H. (2014). Blended Interaction. *Informatik-Spektrum*, 37(5), 459–463.
- Rekimoto, J., Ullmer, B., & Oba, H. (2001). DataTiles: A Modular Platform for Mixed Physical and Graphical Interactions. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '01* (pp. 269–276). New York: ACM Press.
- Rensink, R. A., O'Regan, J. K., & Clark, J. J. (1997). To See or not to See: The Need for Attention to Perceive Changes in Scenes. *Psychological Science*, 8(5), 368–373.
- Rønne Jakobsen, M., & Hornbæk, K. (2011). Sizing Up Visualizations: Effects of Display Size in Focus+Context, Overview+Detail, and Zooming Interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '11* (pp. 1451–1460). New York: ACM Press.
- Rosenthal, R., & Rosnow, R. (2009). *Artifacts in Behavioral Research*.

- 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), 349–363.
- Sachs, P. A., Paterson, A. M., & Turner, M. H. M. (1986). Escort – an Expert System for Complex Operations in Real Time. *Expert Systems*, 3(1), 22–29.
- Salo, L., & Savioja, P. (2006). Practises of process control in digital control room: possibilities and threats. In *Proceedings of the European Conference on Cognitive Ergonomics Trust and Control in Complex Socio-Technical Systems - ECCE '06* (pp. 121–122). New York: ACM Press.
- Sanderson, P. M. (2003). Cognitive Work Analysis. In J. M. Carroll (Ed.), *HCI models, theories, and frameworks: Toward a multidisciplinary science* (pp. 225–264). San Francisco: Morgan Kaufmann.
- Sarkar, M., & Brown, M. H. (1992). Graphical Fisheye Views of Graphs. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '92* (pp. 83–91). New York: ACM Press.
- Schaub, H. (2008). Wahrnehmung, Aufmerksamkeit und Situation Awareness (SA). In P. Badke-Schaub, G. Hofinger, & K. Lauche (Eds.), *Human Factors – Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen* (S. 63–81). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Schneiders, C. (2014). *Visualisierung des Systemzustandes und Situationserfassung in großräumigen elektrischen Übertragungsnetzen*. Dissertation, Universität Wuppertal.
- Schwarz, T., Butscher, S., Müller, J., & Reiterer, H. (2011). Inhaltssensitive Navigation in der Verkehrsleitzentrale. In *Mensch & Computer 2011: überMEDIEN|ÜBERmorgen*. (S. 49–58). München: Oldenbourg Verlag.
- Schwarz, T., Butscher, S., Müller, J., & Reiterer, H. (2012a). Content-aware navigation for large displays in context of traffic control rooms. In *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces - AVI '12* (pp. 249–252). New York: ACM Press.
- Schwarz, T., Butscher, S., Müller, J., & Reiterer, H. (2012b). Ein Multi-Focus-View Konzept im Kontext der Verkehrsleitzentrale. In *Mensch & Computer 2012: interaktiv informiert – allgegenwärtig und allumfassend!?* (S. 43–52). München: Oldenbourg Verlag.
- Schwarz, T., Butscher, S., Müller, J., & Reiterer, H. (2013). Blended Interaction – Neue Wege zur Vermischung realer und digitaler Interaktionskonzepte im Kontext von Leitwarten. *at – Automatisierungstechnik*, 61(11), 749–759.
- Schwarz, T., Heilig, M., Butscher, S., Müller, J., & Reiterer, H. (2011). Die Gestaltung der Arbeitsumgebung von Operatoren (k-) ein Platz für Innovationen? In *AUTOMATION 2011 (VDI-Berichte 2143)*. Düsseldorf: VDI Verlag.
- Schwarz, T., Hennecke, F., Lauber, F., & Reiterer, H. (2012). Perspective + Detail – a visualization technique for vertically curved displays. In *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces - AVI '12* (pp. 485–488). New York: ACM Press.
- Schwarz, T., Kehr, F., Hermes, K., & Reiterer, H. (2010). Holistic Workspace: Future Control Room Design. In *Proceedings of International Conference on Interfaces and Human Computer Interaction - IADIS '10* (pp. 305–308). IADIS Press.
- Schwarz, T., Kehr, F., Oortmann, H., & Reiterer, H. (2010). Die Leitwarte von heute verstehen – die Leitwarte von morgen gestalten! In *Mensch & Computer 2010: Interaktive Kulturen* (S. 93–102). München: Oldenbourg Verlag.

- Schwarz, T., Müller, J., Butscher, S., & Reiterer, H. (2011). Reality-based Interaction in Control Room. In *Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter Conference - HFSE '11 (Poster Session)*. Leeds.
- Schwarz, T., Müller, J., Butscher, S., & Reiterer, H. (2012). Holistic Workspace – Neue Interaktionsformen für die Leitwarte der Zukunft. In *USEWARE 2012 – Mensch-Maschine-Interaktion (VDI-Berichte 2179)* (S. 183–195). Düsseldorf: VDI Verlag.
- Schwarz, T., Müller, J., Butscher, S., & Reiterer, H. (2013). Die Wiederentdeckung analoger Interaktionsqualitäten in der digitalen Leitwarte. *i-com*, 12(3), 25–33.
- Schwarz, T., Oortmann, H., & Reiterer, H. (2010). Holistic Workspace – The next generation control room. In *AUTOMATION 2010 – Leading through Automation (VDI-Berichte 2092)*. Düsseldorf: VDI Verlag.
- Selim, E., & Maurer, F. (2010). EGrid: Supporting the Control Room Operation of a Utility Company with Multi-Touch Tables. In *ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces - ITS '10* (pp. 289–290). New York: ACM Press.
- Sharit, J. (2006). Human Error. In G. Salvendy (Ed.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics* (3rd ed., pp. 708–760). New Jersey: John Wiley & Sons.
- Sheridan, T. (2002). *Humans and Automation: System Design and Research Issues*. New York: John Wiley & Sons.
- Sheridan, T. B. (1987). Supervisory Control. In G. Salvendy (Ed.), *Handbook of Human Factors* (pp. 1243–1268). New York: Wiley.
- Sheridan, T. B. (1996). Speculations on Future Relations Between Humans and Automation. In M. Mouloua (Ed.), *Automation and Human Performance: Theory and Applications* (pp. 449–460). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Shimojo, S., & Shams, L. (2001). Sensory modalities are not separate modalities: plasticity and interactions. *Current Opinion in Neurobiology*, 11(4), 505–509.
- Shneiderman, B. (1996). *The Eyes Have It: A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations*. *IEEE Symposium on Visual Languages - VL '96*. IEEE Computer Society.
- Signer, B., & Norrie, M. C. (2007). PaperPoint: A Paper-Based Presentation and Interactive Paper Prototyping Tool. In *Proceedings of the International Conference on Tangible and Embedded Interaction - TEI '07* (pp. 57–64). New York: ACM Press.
- Someren, M. W. Van, Barnard, Y. F., & Sandberg, J. A. C. (1994). *The Think Aloud Method: A Practical Guide to Modelling Cognitive Processes*. London: Academic Press.
- Spence, R. (2007). *Information Visualization: Design for Interaction* (2nd ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Steimle, J. (2009). Designing Pen-and-Paper User Interfaces for Interaction with Documents. In *Proceedings of the International Conference on Tangible and Embedded Interaction - TEI '09* (pp. 197–204). New York: ACM Press.
- Streitz, N. A., Geißler, J., & Holmer, T. (1999). i-LAND: An interactive Landscape for Creativity and Innovation. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '99* (pp. 120–127). New York: ACM Press.

- Streitz, N., Geißler, J., & Holmer, T. (1998). Roomware for Cooperative Buildings: Integrated Design of Architectural Spaces and Information Spaces. In *Proceedings of the International Workshop on Cooperative Buildings, Integrating Information, Organization, and Architecture - CoBuild '98* (pp. 4–21). London: Springer-Verlag.
- Tognazzini, B. (1994). The “Starfire” Video Prototype Project: A Case History. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '94* (pp. 99–105). New York: ACM Press.
- Tullis, T., & Albert, B. (2008). *Measuring the User Experience: Collecting, Analyzing, and Presenting Usability Metrics. Collecting, Analyzing, and Presenting Usability*. Burlington: Morgan Kaufmann.
- Turetken, O., & Sharda, R. (2004). Development of a fisheye-based information search processing aid (FISPA) for managing information overload in the web environment. *Decision Support Systems*, 37(3), 415–434.
- Ulich, E. (1992). *Arbeitspsychologie* (2. Ed.). Stuttgart: Verlag der Fachvereine.
- Ullmer, B., & Ishii, H. (2000). Emerging frameworks for tangible user interfaces. *IBM Systems Journal*, 39(3-4), 915–931.
- Underkoffler, J., & Ishii, H. (1999). Urp: A Luminous-Tangible Workbench for Urban Planning and Design. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '99* (pp. 386–393). New York: ACM Press.
- Vicente, K. J. (1999). *Cognitive Work Analysis: Toward Safe, Productive, and Healthy Computer Based Work*. New Jersey: Erlbaum Associates.
- Ware, C. (2013). *Information Visualization: Perception for Design* (3rd ed.). Waltham: Morgan Kaufmann.
- Ware, C., & Lewis, M. (1995). The DragMag Image Magnifier. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '95* (pp. 407–408). New York: ACM Press.
- Weibel, N., Ispas, A., Signer, B., & Norrie, M. C. (2008). PaperProof: A Paper-Digital Proof-Editing System. In *Extended Abstracts of the SIGCHI Conference on Human Factors and Computing Systems - CHI '08* (pp. 2349–2354). New York: ACM Press.
- Weiser, M. (1993). Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing. *Communications of the ACM*, 36(7), 75–84.
- Weiser, M. (1995). The Computer for the 21st Century. In R. M. Baecker, J. Grudin, Buxton W. A. S., & S. Greenberg (Eds.), *Human-Computer Interaction: Toward the Year 2000* (pp. 933–940). San Francisco: Morgan Kaufmann.
- Weiss, M., Voelker, S., Sutter, C., & Borchers, J. (2010). BendDesk: Dragging Across the Curve. In *Proceedings of ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces - ITS '10* (pp. 1–10). New York: ACM Press.
- Weiss, M., Wagner, J., Jansen, Y., Jennings, R., Khoshabeh, R., Hollan, J. D., & Borchers, J. (2009). SLAP Widgets: Bridging the Gap Between Virtual and Physical Controls on Tabletops. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '09* (pp. 481–490). New York: ACM Press.
- Wellner, P., Mackay, W., & Gold, R. (1993). Back to the Real World. *Communications of the ACM - Special Issue on Computer Augmented Environments: Back to the Real World*, 36(7), 24–27.

- Wickens, C. D., Gordon, S. E., & Liu, Y. (2004). *An Introduction to Human Factors Engineering* (2nd ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Wickens, C. D., & Hollands, J. G. (2000). *Engineering Psychology and Human Performance* (3). Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Wigdor, D., & Wixon, D. (2011). *Brave NUI World: Designing Natural User Interfaces for Touch and Gesture*. San Francisco: Morgan Kaufmann.
- Wilson, A. D., Izadi, S., Hilliges, O., Garcia-Mendoza, A., & Kirk, D. (2008). Bringing Physics to the Surface. In *Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology - UIST '08* (pp. 67–76). New York: ACM Press.
- Wimmer, R., Hennecke, F., Schulz, F., Boring, S., Butz, A., & Hußmann, H. (2010). Curve: Revisiting the Digital Desk. In *Proceedings of the Nordic SIGCHI Conference on Human-Computer Interaction: Extending Boundaries - NordiCHI '10* (pp. 561–570). New York: ACM Press.
- Wimmer, R., & Schulz, F. (2009). Curve: Blending Horizontal and Vertical Interactive Surfaces. In *Proceedings of Tabletops and Interactive Surfaces - Tabletop '09*. New York: ACM Press.
- Wittenberg, C. (2001). *Virtuelle Prozessvisualisierung am Beispiel eines verfahrenstechnischen Prozesses*. Dissertation, Universität Kassel.
- Woods, D. D. (1995). The alarm problem and directed attention in dynamic fault management. *Ergonomics*, 38(11), 2371–2393.
- Woods, D. D., O'Brien, J., & Hanes, L. F. (1987). Human factors challenges in process control: The case of nuclear power plants. In G. Salvendy (Ed.), *Handbook of Human Factors* (pp. 1724–1770). New York: Wiley.
- Zhai, S., Milgram, P., & Drascic, D. (1993). An Evaluation of Four 6 Degree-of-Freedom Input Techniques. In *Proceedings of SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '93* (pp. 123–125). New York: ACM Press.
- Zhai, S., Smith, B. A., & Selker, T. (1997). Improving Browsing Performance: A study of four input devices for scrolling and pointing tasks. In *Proceedings of the International Conference on Human-Computer Interaction - INTERACT '97* (pp. 286–292). London: Chapman & Hall.
- Ziegeler, D., & Zühlke, D. (2004). Applications of Humanoid Avatars in Industrial Environments. In *Proceedings of the IFAC World Congress. Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems*. International Federation of Automatic Control.
- Zinser, K. (1995). Fisheye Views – Interaktive, dynamische Visualisierungen. In *atp – Automatisierungstechnische 37* (S. 42–50). Düsseldorf: VDI Verlag.
- Zühlke, D. (2002). Useware – Herausforderung der Zukunft. In *USEWARE 2002 – Mensch-Maschine-Kommunikation-Design (VDI-Berichte 1678)* (S. 1–9). Düsseldorf: VDI Verlag.

Anhang A – Kernaufgaben der Operatoren in den Domänen

	Produktionsprozesse		
Informationsverarbeitertätigkeiten	Kraftwerk	Energieverteilung	Tagebau
Aktivierung	Prozessvariable im Prozessbild der Förderanlagen bzw. auf dem Meldungsbildschirm wahrnehmen oder Telefonanruf von Kollegen im Feld annehmen	Eingehende Meldung im Prozessbild bzw. auf dem Meldungsbildschirm wahrnehmen oder Telefonanruf von Polizei oder Kollegen im Feld annehmen	Eingehende Meldungen im Prozessbild der Förderanlagen bzw. auf dem Meldungsbildschirm wahrnehmen oder Telefonanruf von Kollegen im Feld annehmen
Beobachtung	Überwachungsmonitore kontrollieren, Operator erkennt: zu wenig Müll zur Verbrennung im Kessel	Überwachungsmonitore kontrollieren, Operator erkennt: Störung im Leitungsnetz	Überwachungsmonitore kontrollieren, Operator erkennt: zu wenig Kohle im Bunker
Identifikation	Restmenge an Materialien identifiziert	Lage von Störung im Leitungsnetz identifiziert	Lage von Förderband zur Kohleförderung identifiziert
Interpretation Wie ist die Wirkung?	Nicht genügend Energie erzeugt	Störung im Leitungsnetz	Zu wenig Kohlevorrat für nahestehendes Kraftwerk
Bewertung Welches Gesamtziel ist zu wählen?	Normale Betriebssituation herstellen	Normale Betriebssituation herstellen	Normale Betriebssituation herstellen
Interpretation von Zielzustand	Ausreichend Müll im Kessel vorhanden	Ausgeglichene Stromlast	Ausreichend Kohle im Bunker vorhanden
Aufgabendefinition	Müll in Brennkammer schaffen, um korrekte Temperatur im Kessel zu erreichen	Wetterdaten beobachten, ob eventuelle Ursache für Störung; Servicetechniker an die Stelle mit Störung leiten und Stromversorgung über andere Leitung gewährleisten	Steuerung der Förderbänder anpassen, um genügend Material im Bunker zur Verfügung zu stellen
Ablaufformulierung	Anhand des Kamerabilds prüfen, ob genug Material angekommen ist, bzw. anhand der Messwerte die Daten ablesen und dokumentieren	Servicetechniker vor Ort koordinieren und Informationen aus der Leitwarte zukommen lassen	Auswahl des Förderbands, mit Videokamera den Materialfluss der Kohle prüfen
Ausführung	o.g. Prozeduren umsetzen	o.g. Prozeduren umsetzen	o.g. Prozeduren umsetzen

	Informationsprozesse			
Informationsverarbeitungs-tätigkeiten	Verkehrsüberwachung	Flugsicherung	Briefsortierung	Einsatzleitzentrale
Aktivierung	Eingehende Meldung im Prozessbild bzw. auf dem Meldungsbildschirm wahrnehmen oder Telefonanruf von Polizei oder Straßenwacht annehmen	Eingehende Meldung im Prozessbild bzw. auf dem Meldungsbildschirm wahrnehmen oder Telefonanruf von anderen Flugsicherungsstellen annehmen	Eingehende Meldung im Prozessbild bzw. auf dem Meldungsbildschirm wahrnehmen oder Telefonanruf von Kollegen an der Briefsortieranlage annehmen	Eingehende Alarmierung über Sprechfunk, Funkmeldeempfänger, hausinternes Lautsprechersystem, Telefon oder Alarm-Fax annehmen
Beobachtung	Überwachungsmonitore kontrollieren, Operator erkennt: Verkehrsfluss behindert	Überwachungsmonitore kontrollieren, Operator erkennt: Ausfall einer Radarstation	Überwachungsmonitore kontrollieren, Operator erkennt: Brieffluss behindert	Überwachungsmonitore kontrollieren, Operator erkennt: eingehender Notruf über Feuermelder
Identifikation	Lage von erhöhtem Verkehrsaufkommen identifiziert	Lage von Störung der Radarstation identifiziert	Lage von verstopfter Briefsortieranlage identifiziert	Lage von Hausobjekt identifiziert
Interpretation Wie ist die Wirkung?	Stau bzw. stockender Verkehr	Gesamte Abdeckung des Radarsystems nicht gewährleistet	Brieffluss stockt	Für Objekt müssen genügend Betriebsmittel zur Verfügung stehen
Bewertung Welches Gesamtziel ist zu wählen?	Normale Betriebs-situation herstellen	Normale Betriebs-situation herstellen	Normale Betriebs-situation herstellen	Normale Betriebs-situation herstellen
Interpretation von Zielzustand	Verbesserter Verkehrsfluss ohne Gefährdung der Verkehrsteilnehmer	Verbundnetz der Radarsysteme steht zur Verfügung	Briefsortieranlagen laufen reibungslos	Genügend Betriebsmittel stehen zur Verfügung
Aufgaben- definition	Verkehrsdurchfluss erhöhen durch Freigabe des Seitenstreifens und Herabsetzen der Geschwindigkeit	Prüfung, ob Störung vor Ort oder in der Kommunikation zur Leitwarte vorliegt	Servicetechniker an die Stelle der Störung leiten und andere Mitarbeiter im Logistikzentrum informieren, dass Anlage still steht	Einsatzplanung mit verfügbaren Betriebsmitteln
Ablauf- formulierung	Mit Kamerabildern prüfen, ob Seitenstreifen frei (kein Pannenfahrzeug); Seitenstreifen freigeben	Bei Störung im Feld entsprechende Servicetechniker verständigen und Einsatz koordinieren	Servicetechniker in der Anlage informieren und genaue Position der Störung mitteilen	Einsatzplan an die verfügbaren Einsatzkräfte übermitteln; falls Einsatzkräfte in der Nähe des Objekts, diese entsprechend hinzudelegieren
Ausführung	o.g. Prozeduren umsetzen	o.g. Prozeduren umsetzen	o.g. Prozeduren umsetzen	o.g. Prozeduren umsetzen